

Univerzita Karlova

Filozofická fakulta

Ústav informačních studií a knihovnictví

Studia nových médií

Diplomová práce

Bc. Kryštof Petrásek

**Budoucnost řízení tramvajového vlaku s přechodem
na autonomní technologie**

The Future of Tram Driving towards Autonomous Technology

Praha 2021

Vedoucí práce: Mgr. Josef Šlerka, Ph.D.

Konzultant práce: Ing. Jiří Vokoun

Poděkování:

Chtěl bych moc poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Mgr. Josefu Šlerkovi, PhD. za trpělivost. Svému konzultantovi Ing. Jiřímu Vokounovi, projektovému manažerovi ze Škody Transportation, děkuji za podporu při přípravě práce a za poskytnutí relevantní studijní praxe.

Dále děkuji Ing. Jakubovi Bílkovi za jeho podněty a inspiraci při mezisektorových setkáních. Za podporu od počátku vzniku práce děkuji PhDr. Pavlovi Farkasovi, který mi pomáhal ukotvit myšlenku diplomové práce a byl neustálým konzultantem při její tvorbě.

Velké díky patří všem účastníkům výzkumu, kteří si udělali ve svých nabitých kalendářích čas, a podělili se o vědomosti ze svých profesních oblastí.

Panu Ladislavu Karkoškoví děkuji za poskytnutí prostoru pro výzkum v Idea Delivery Labu. Děkuji své rodině za podporu při dokončování studia, Emilovi a mé mamince za korekturu.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, že jsem řádně citoval všechny použité prameny a literaturu, a že práce nebyla využita v rámci jiného vysokoškolského studia či k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze, dne 27. července 2021

Kryštof Petrásek

Klíčová slova:

Veřejná doprava, autonomie, technologie, smart city, mobilita jako služba, tramvaje, řízení, interakce

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá autonomní tramvajovou dopravou v kontextu města Prahy. Cílem je zmapovat pražskou tramvajovou dopravu společně s autonomními technologiemi a navrhnout postup jejich implementace do budoucího provozu. Tyto výstupy budou promítnuty do role řidiče tramvaje.

Teoretická část se zabývá historií tramvajové dopravy a vývojem rolí řidiče a průvodčího, představuje stav výzkumu autonomních technologií pro silniční vozidla, které jsou inspirací pro autonomní tramvaje, a také pilotní projekty autonomních tramvají ve světě.

Praktická část se věnuje prognostickému výzkumu odborníků se zaměřením na budoucnost pražských tramvají v kontextu autonomie. Dalším výzkumem je sledování interakce obyvatel a tramvají v terénu. Výstupy výzkumů jsou v kontextu teoretické části promítnuty do návrhu procesu implementace autonomních tramvají v Praze. Tento proces je pak zohledněn z pohledu vývoje role řidiče tramvaje.

Key words:

Public Transportation, Autonomy, Technology, Smart City, Mobility as a Service, Trams, Driving, Interaction

Abstract:

The text of the diploma thesis focuses on autonomous tram transportation in the context of Prague. The goal of this work is to map out Prague tram transportation and autonomous technology and then suggest its implementation in future service. The outcomes will be then projected into the role of a tram driver.

The theoretical part consists of historical synthesis of tram transportation and the role of drivers and conductors. It introduces the current state of autonomous technology research for road vehicles, which provide inspiration for tram technology and also current pilot projects of autonomous trams in the world.

The practical part includes a prognostic research with professionals with focus on the future of prague trams in the context of autonomy. Another research included observation of interaction between citizens and trams in the field. The outcomes of the research are projected with the background of the theoretical part into a concept of process of autonomous trams implementation for Prague. This process is then reflected from the point of view of tram drivers.

Obsah

1. Úvod	10
2. Teoretická část	11
2.1 Historický vývoj tramvajové dopravy v Praze	11
2.1.1 Pražská koňka	11
2.1.2 Elektrické dráhy	12
2.1.3 Speciální vozy	15
2.1.4 Zavedení číselného linkového vedení	15
2.1.5 Vznik Velké Prahy a meziválečné období	17
2.1.6 Poválečný rozvoj	18
2.1.7 Následky zahájení provozu metra do současnosti	18
2.1.8 Od devadesátých let do současnosti	21
2.2 Výzkum v oblasti silničních autonomních technologií	22
2.2.1 Terminologie	22
2.2.2 Lokalizace	23
2.2.3 Vidění	24
2.2.4 Porozumění datům	25
2.2.5 Rozhodování	25
2.2.6 Další výzkum	26
2.3 Autonomní technologie pro tramvaje	28
2.3.1 Stupně autonomie	28
2.3.2 Relevantní dopravní projekty	29
2.4 Pokročilé technologické prvky u současných pražských tramvají	32
2.4.1 Pohon tramvají	33
2.4.2 Ovládání vozidla	33
2.4.3 Elektronická mapa	35

2.4.4	Automatické ovládání dveří.....	35
2.5	Vývoj v roli řidiče tramvaje.....	36
3.	Praktická část.....	40
3.1	Výzkum.....	40
3.2	Kolo budoucnosti.....	40
3.2.1	Teoretický úvod	40
3.2.2	Příprava	42
3.2.3	Průběh	43
3.2.4	Výstup	48
3.3	Nezúčastněné pozorování	49
3.3.1	Motivace	49
3.3.2	Příprava a průběh	52
3.3.3	Výstupy a diskuze	53
3.4	Zkušenosti z praxe	53
3.4.1	Technologické překážky	54
3.4.2	Prostor pro zlepšení	56
3.4.3	Připravenost	57
3.5	Cesta k autonomní tramvaji	58
3.5.1	Nultá fáze	58
3.5.2	Spolupráce několika odvětví.....	59
3.5.3	Příprava společnosti.....	59
3.5.4	Varianta řešení projektu.....	60
3.6	Dopady na roli řidiče	63
3.6.1	Řízení tramvaje dnes.....	64
3.6.2	Požadavky na řidiče budoucnosti	66
3.6.3	Příprava „nových“ řidičů	66
3.6.4	Nové role.....	67

4. Závěr	69
5. Seznam literatury a zdrojů	71
6. Seznam obrázků a tabulek.....	79

Seznam termínů a zkratek

Tato kapitola představuje významné pojmy v textu práce. Díky seznamu pojmů a zkratek by mělo být pro čtenáře snazší porozumět dobře následujícímu textu.

Autonomie

Schopnost provádět samostatná informovaná rozhodnutí. Původně se používá u lidí, nyní se ve vysoké míře používá k popisu samořídících vozidel a dalších technologií.

Big Data

Jedná se o technologické odvětví zpracovávání velkého množství dat, které běžné softwarové aplikace zpracování dat nejsou schopné pojmout. Data mohou pocházet z různých odvětví jako jsou hledání na internetu, geografické informační systémy nebo třeba urbánní informatika.

IPR

Zkratka pro Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy. Jedná se o příspěvkovou organizaci hlavního města Prahy, jejíž hlavní náplní činnosti je rozvoj koncepce Prahy v oblasti urbanismu, tvorby města nebo architektonických projektech.

Městská hromadná doprava (zkratka MHD)

Jedná se o systém linek veřejné dopravy, která se běžně charakterizuje pravidelným, plánovaným a předepsaným schématem provozu.

Operátor ICT

Jedná se o akciovou společnost hlavního města Prahy, která se věnuje rozvoji digitálních projektů jako je karta Lítačka, či Smart Prague.

Smart City

Koncept fungování města, které využívá digitální a ICT technologie pro lepší provoz.

Stakeholder

Stakeholder je osoba nebo skupina osob, která má zájem na určitém projektu na základě svého konkrétního vztahu k němu. Tento termín se používá hlavně v businessu. Do češtiny lze volně přeložit jako zainteresovaná osoba.

1. Úvod

Řízení dopravy ve městech je stále komplexnějším a náročnějším úkolem. Počet obyvatel v Praze konstantně narůstá¹, přičemž dopravní kolony představují čím dál větší problém. Hromadná doprava je funkční alternativou nicméně ne řešením. Moderní městská mobilita považuje hromadnou dopravu za pouze jeden ze způsobů přepravování ve městě.

Posílení hromadné dopravy je přesto stále žádoucí; v případě metra jej nad rámec nejkratších možných intervalů umožní až autonomní provoz². Obdobný efekt lze očekávat i u tramvajové dopravy díky větší plynulosti dopravy. Na tu se bude celá práce, s ohledem na profesní zájem autora, zaměřovat. Autonomní tramvajový provoz zároveň poskytne řešení pokračující krize nedostatku provozních zaměstnanců a samozřejmě přináší i další finanční úspory z různých důvodů.

První, teoretická část diplomové práce začíná historickým přehledem vývoje tramvajové dopravy v Praze. Slouží jako inspirace pro odhadování jejího dalšího vývoje s novou technologií autonomního řízení, následuje rozbor současného stavu výzkumu autonomní silniční dopravy, ze kterého technologie pro tramvaje čerpají. Jelikož už se různé projekty autonomní tramvaje ve světě realizují, jsou zde spolu s rozvrženými stupni autonomie představeny. Pro nastínění budoucího vývoje autonomních tramvajových vlaků jsou představeny současné pražské vlaky a technologie v nich jako i role řidiče a průvodčího tramvají od počátku kolejového provozu.

Druhá, praktická část diplomové práce obsahuje dva výzkumy věnované tématu autonomní tramvajové dopravy. Na základě jejich závěrů a zároveň zkušenosti autora práce předpoklad možného průběhu příchodu autonomní tramvajové dopravy v Praze. Závěrem je pak tento vývoj vztažen na současnou profesi řidiče.

¹ Dokazují to data Českého statistického úřadu za roky 2016-2020, zdroj: www.czso.cz.

² „Bez strojvedoucích na linkách C a D“ dle ČTK na webu iRozhlas.cz, [2020].

2. Teoretická část

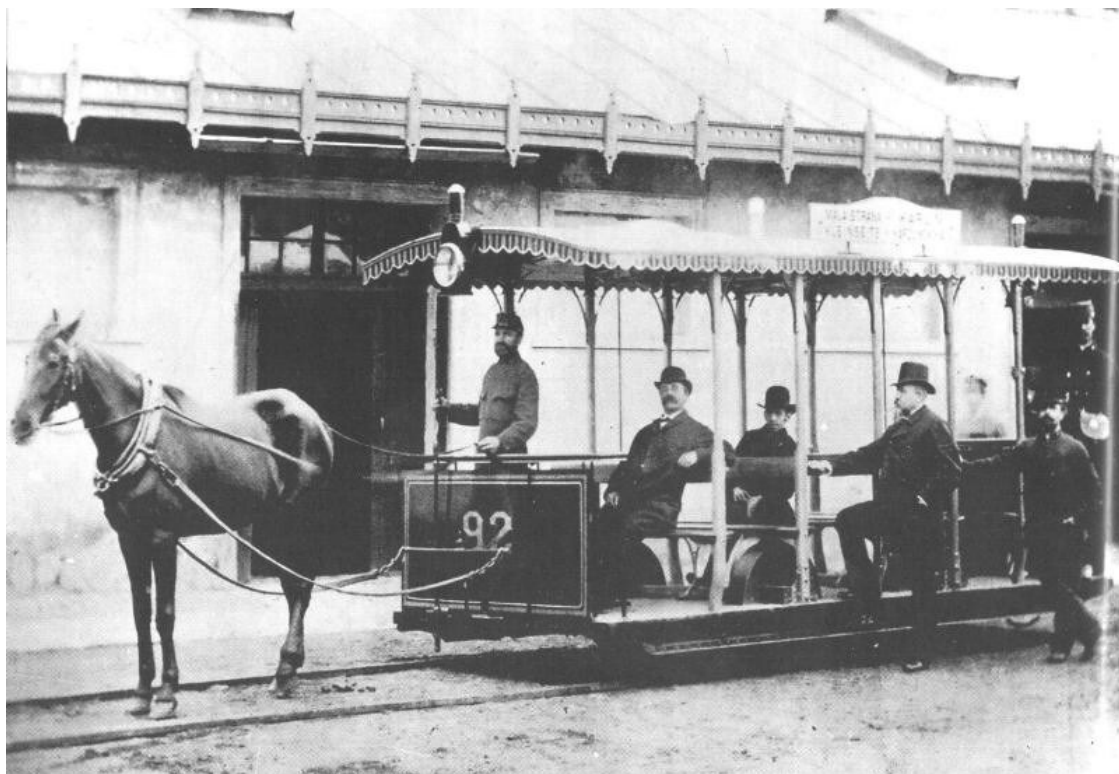
2.1 Historický vývoj tramvajové dopravy v Praze

2.1.1 Pražská koňka

Počátek historie tramvajové dopravy v Praze se většinou přisuzuje začátku koněspřežné dráhy v hlavním městě. Konešpřežná dráha na rozdíl od předchozí formy hromadné dopravy, dopravy silniční (z počátku formou takzvaných omnibusů), již měla pevné vedení kol, což poskytovalo benefit ve formě efektivnějšího využití animální síly díky snížení odporu vozidla (vůz–vozovka/kolej). Prvním provozem koněspřežné dráhy (dále koňky, jak se jí dodnes říká) v Praze se roku 1873 stala akciová společnost „Anglicko-česká tramwayová společnost“ (původně jen pod anglickým a německým názvem, dále už jako „Společnost“), která získala v březnu

od vlády koncesi. Kvůli finanční krizi, která tehdy ovlivnila mnoho podniků ve střední Evropě, nakonec zahájil podnik stavbu tratí až na přelomu let 1874 a 1875. Provoz byl zahájen 23. září 1875. (Fojtík et al., 2005, 13–19). Měla celkem 32 zaměstnanců, 10 vozů a 32 koní. Od září do konce roku stihla koňka přepravit jeden a půl milionu osob. (Pošusta et al., 1975, 14) Tou dobou byla koněspřežná trať ověřenou dálkovou dopravou mezi různými městy monarchie, například z Prahy do Lán (Hlavačka, 1990, 31–39). V průběhu devatenáctého století ji ale postupně nahrazovala parostrojní železnice, na začátku šedesátých letch byla zprovozněna trať z Prahy na západ až k bavorské hranici nebo do Kladna (Hlavačka, 1990, 39–73).

Koňka nebyla tehdejším centrem Prahy vedena dvoukolejně. První trať od Invalidovny (tehdy součástí samostatné obce Karlín) vedla k Praze dvoukolejně a následně již pouze jednokolejně s výhybnami po trase až ke staveništi Národního divadla, kde stál řetězový most císaře Františka I., přes který museli cestující přejít pěšky. Roku 1876 se i na druhé straně zprovoznilo pokračování koňky směrem ke Smíchovskému nádraží. K Újezdské bráně (čili hranici Prahy) byla trať opět jednokolejná, na Smíchově pak dvoukolejná. Kolejový svršek byl primitivní, docházelo k častým vykolejením a dalším nehodám jak vozů, tak chodců a dalších povozů v okolí tratě. (Fojtík et al., 2005, 19)



Obrázek 1 – Vůz koňky na dvoře vozovny Karlín. (Archiv serveru Pražské tramvaje [b. r.]’

Síť kolejí pak byla rychle rozšiřována. V příštích letech byla uzavřena smlouva na další směřování na Královské Vinohrady, Žižkov a do Holešovic. Pražská obec si ve smlouvě s dodavatelem stanovovala přísná kritéria toho, jak bude Společnost (tehdy už pod vedením Eduarda Otleta, švýcarského podnikatele) stavbu tratí provádět. Vysoké penále za nedodržení termínů, poplatky za stavbu na hojně využívaných mostech nebo podmínky pro omezování dalšího provozu stavbou byly z důvodu velkého zájmu Eduarda Otleta stavět pražskou tramvaj Společností akceptovány. Dokončením tratí vzniklo 6 tras, které byly označeny barevnými terči na vozech namísto dnes používaných čísel. Provoz probíhal od 6:00 ráno do 22:00 večer a poslední spoje byly místo svým běžným barevným terčem označeny modrou svítilnou. (Fojtík et al., 2005, 20–25)

2.1.2 Elektrické dráhy

Přerod koňské dráhy na elektrickou dráhu tak, jak ji známe dnes, započal v devadesátých letech devatenáctého století. U tohoto významného kroku stál František Křižík³, který postavil krátkou 766 metrů dlouhou trať od letenské lanovky k branám Stromovky, kde se roku 1891 konala Zemská jubilejní výstava a Křižík zde chtěl prezentovat využití elektřiny v městské dopravě.

³ František Křižík byl český vynálezce a průmyslník známý pro vynález obloukové lampy a jiné pokroky v elektroinženýrství.

Po úspěšném představení projektu veřejnosti byl osloven k rozvoji drážní dopravy přilehlými pražskými obcemi. Vznikla tak například trať do Libně a Vysočan nebo na Královské Vinohrady. Otletova Společnost se však proti Křižíkově úspěšné expanzi bránila a Královské Vinohrady zase čelily neochotě ze strany pražské obce spolupracovat na dopravním rozvoji. Přesto byla vinohradská téměř tříkilometrová dráha největší v rámci pražské aglomerace. Její vozy byly čtyřnápravové a jejich vlečné vozy musely být kvůli hmotnosti a svahům na vinohradských tratích také elektrifikovány (standardem byl poháněný tažný vůz a vlečný vůz pouze mechanicky připojený). Provoz zde byl delší, zahajován již před šestou hodinou ranní a s odjezdy od hlavního nádraží (tehdy nádraží císaře Františka Josefa) k vozovně na místě, kterému dnes říkáme Orionka, po jedenácté večer. (Fojtík et al., 2005, 32–53)

Za zmínku jistě stojí, že vinohradská trať byla od počátku zamýšlena jako okružní, s druhou půlkou tratě vedenou přes Žižkov a vystavěnou Prahou. Půl roku pak trval souběžný provoz dvou samostatných dopravních podniků (ze dvou různých měst a odlišných okresů) na jedné spojené okružní trati. Následně byla vinohradská trať za stavební náklady předána Praze. Další rozvoj sítě a přeměna separovaných tratí na funkční celek měla být od roku 1897 zajištěna novou institucí pod názvem Elektrické podniky královského hlavního města Prahy. (Fojtík et al., 2005, 54–57) Ambiciózní seznam nových tratí pro ně začal budovat přímo František Křižík, takzvaně na klíč. Po převzetí koňky Elektrickými podniky padlo rozhodnutí ji elektrifikovat, a tak bylo budování nových tratí snazší. První trať, která byla pro renovaci vybrána, vedla z Josefského náměstí (dnes náměstí Republiky) do Královské obory (Stromovka) pro účely blížící se výstavy architektury a inženýrství. Roku 1901 pak vznikla první tramvajová linka. To znamenalo, že trasa nyní nevedla už jenom po jedné stavební trati. Tratě svou trasou propojila a využívala jich celkem pět. Zde vidíme vliv sdružování existujících elektrických tratí a koňky pod hlavičkou Elektrických podniků. Poslední zbývající trati koňky byla trať na Karlově mostě, kde byl její provoz ukončen až v roce 1905. Nahradila ji spodně napájená tramvajová linka, která však byla i přes snahy Františka Křižíka velmi poruchová, a provoz zde tedy musel být roku 1908 ukončen. Na počátku první světové války pak byly koleje vytrhány. (Fojtík et al., 2005, 59–67) Bryskní přerod koňky na elektrické dráhy dokládají data o délce sítě v kilometrech: v roce 1897 leželo 18,38 km tratí koňky a pouhých 5,84 km tramvajových tratí, v roce 1905, tedy o osm let později, to bylo 0 km koňky a 47,83 km tramvajových tratí (Pošusta et al., 1975, 20). Následně probíhal další rozvoj tramvajové sítě jak v centru, tak do okolních obcí a také zdvoukolejňování do té doby jednokolejných úseků. (Fojtík et al., 2005, 82–83) Významný byl například projekt tratě po Vinohradské ulici

až do Strašnic k nově postavené vozovně, kterou iniciovala obec Strašnice přenecháním pozemku pro místní vozovnu městu Praze (Fojtík, 2018, 3). Nárůst počtu zaměstnanců, mimochodem i žen ve službě průvodčích, umožnil větší množství vlečných vozů na tramvajových linkách. (Fojtík et al., 2005, 91) Před první světovou válkou bylo vlečných vozů již 37 % z celkového počtu vozů, přesněji 203 vlečných a 348 motorových (Fojtík et al, 2020, J.6.31).



*Obrázek 2 – Spodně napájená tramvaj na Karlově mostě s viditelnými kontakty v dlažbě.
(Archiv serveru Pražské tramvaje, [1905])*

2.1.3 Speciální vozy

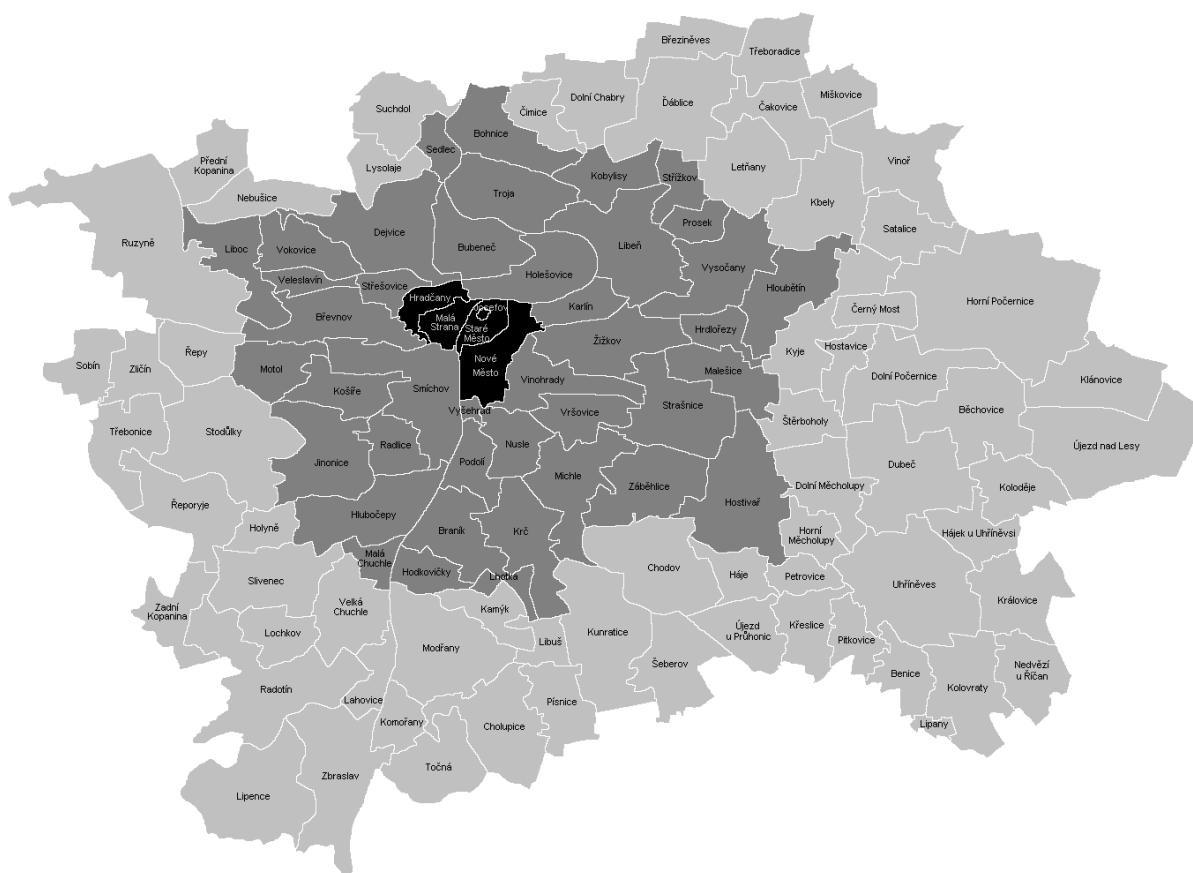
Během první světové války nechalo město adaptovat osmnáct tramvajových osobních vozů na sanitní pro převoz raněných vojáků. Z tohoto důvodu byly také postaveny traťové odbočky k nádraží císaře Františka Josefa nebo k nemocnici u Karlova náměstí. Dále se během války užívalo elektrických drah k nákladní dopravě například rozvozu brambor, stavebního materiálu, či odvozu smetí. (Fojtík et al., 2005, 87–88) V roce 1905 zhotovily dílny Elektrických podniků vlečný kropící vůz. Cílem bylo snížit víření prachu vozidel jezdících v okolí kolejí. Vodojem měl celkovou kapacitu 9 metrů krychlových a rozstřík probíhal přes čtyři dírkované válcové nádoby postupně středem vozidla. Pro omezení náhlého pohybu tělesa vody byly uvnitř důmyslně umístěny tři peřejníky⁴. (Losos et al., 1980, 53) V roce 1917 byl rekonstruován vůz pro potřeby následků první světové války určený pro přepravu zemřelých v rakvích. Do dvou oddělení vozu se dalo uložit po dvou až čtyřech rakvích, které se připevnilly na zvláštní výsuvné desky. Vůz v tomto stavu vydržel do roku 1922, kdy byl rekonstruován do původního stavu. (Losos et al., 1980, 43) Od konce 20. let se vozy používaly také jako reklamní, a to nejen po celé boční délce vozů, ale i na čele. Za zmínku též stojí, že převzetím vozů od Křižíkovy dráhy se dostal do vozového parku Elektrických drah také akumulátorový vůz evidenčního čísla 18, později 292. Nebyl nikdy nasazen na pravidelné linky, ale je to důkaz toho, že už Křižík se myšlenkou akumulátorového provozu zabýval. (Losos et al., 1980, 42–43)

2.1.4 Zavedení číselného linkového vedení

S rozvojem tramvajové sítě a souběžným provozem spojů různými směry po jednom traťovém úseku začal být do té doby používaný systém rozlišování spojů barvami vozů a tabulek se směrovým trasováním pro cestující nepřehledný. V roce 1906 tedy padl návrh přidělit trasám ciferné označení (původně arabsky vpředu a římsky vzadu, což se nakonec nerealizovalo). První takovou linkou byla linka číslo 5 v původní trase Karlín–Malá Strana, ostatní linky pak dostaly svá označení v roce 1908. Až těsně před vypuknutím války došlo k první optimalizaci tras linek z pohledu celého systému tak, aby byly řešeny přestupní vazby a provozní vztahy na tramvajových úsecích. Za zmínku ještě stojí zavedení nočního provozu, což tehdy obnášelo vypravování spojů až do půlnoci s jednotným intervalem a zvýšeným jízdným. (Fojtík et al., 2005, 93–94)

⁴ Peřejník je přepážka v nádobě na kapalinu, která má za cíl snížit kinetickou energii kapaliny, tak, aby příliš neovlivňovala celkovou energii celé nádoby. Používá se například v cisternách.

Druhou významnou službou a pro účely této práce nejspíše první výskyt zavedení principu dynamicky řízené dopravy (v kontrastu se standardním charakterem městské dopravy – provozem na pravidelných trasách v časovém rozsahu a intervalech) bylo zavedení divadelních tramvají. Pro potřeby této služby byly v ulicích zřízeny zvláštní koleje pro deponování vozů, které odtud byly po skončení divadelních představení vypravovány jako posilové na pravidelných linkách v okolí divadel nebo i směrem na další traťové úseky. V prvních dvou desetiletích 20. století se jezdilo od Národního divadla, karlínského Varieté, od Uranie, Arény anebo Vinohradského a Intimního divadla. (Fojtík et al., 2005, 93–94)



Obrázek 3 – Katastrální mapa Prahy, Velká Praha je vyznačena tmavě šedou a černou. (zdroj: Wikimedia Commons)

2.1.5 Vznik Velké Prahy a meziválečné období

Další významný rozvoj sítě způsobil vznik takzvané Velké Prahy⁵ v roce 1922, kdy došlo k nárůstu obyvatel z 242 tisíc na 657 tisíc. Jen během meziválečného období navíc došlo ke zvýšení počtu Pražanů o dalších 50 %. (Fojtík et al., 2005, 102–110)

Rozvoj čtvrtí vyžadoval rozvoj dopravní infrastruktury, a stávající tratě byly prodlouženy do periferií po tratích do směrů tak, jak je v podstatě známe dodnes. Rozvoj automobilové dopravy zároveň vyžadoval v některých místech oddělení tramvajové dopravy od silniční, například mezi Štefánikovým mostem a Bubenským nábřežím jezdily tramvaje na samostatném vyvýšeném tělese, odděleně od ostatních dopravních prostředků při severním okraji vozovky. Toto řešení se následně stalo trendem ve výstavbě tramvajových tratí. (Fojtík et al., 2005, 102–110)

Kromě rozšiřování dopravy došlo i na pár ojedinělých omezení. Zrušena byla například tramvajová trať na Santošku, která byla nahrazena trolejbusem v delší trase. Obecně se v této době vyskytovalo po Praze mnoho manipulačních kolejí a kolejových přejezdů pro snazší manipulaci při obracení vlaků či pro odstavení vlečných vozů. (Fojtík et al., 2005, 102–110) Obecně se vlaky odstavovaly v době snížení dopolední poptávky na konečných. Výroční zpráva podává informaci o záměrné konstrukci takové koleje v Braníku v roce 1933: „byla postavena třetí kolej v délce 223 metrů se dvěma kolejovými spojkami, která slouží pro přistavování zásobních vlaků v době zvýšené frekvence do Braníka“ (Elektrické podniky hlavního města Prahy, 1934, 14). Tyto koleje dnes už Praha až na výjimky nemá a kapacita obratišť je mnohdy také na hraně.

V roce 1939 bylo nutné dle Pařížské konvence z roku 1926 přistoupit k zavedení pravostranného provozu. Ten nebyl příliš náročný pro vozový park, jelikož většina vozů byla obousměrná. Problematická však byla úprava pevné infrastruktury, třeba kolejí a zastávkových ostrůvků. Práce byly plánované na konec dubna, jenže kvůli okupaci Prahy bylo vynuceno přistoupit na zavedení dříve, konkrétně od 26. března. Pražští dopravní zaměstnanci tak museli narychlo přeložit 95 nástupišť, 25 nových zřídit a uložit stavěcí zařízení do 176 výhybek. Číslo však mohou být dokonce vyšší, než se podařilo zjistit. Válka pak zastavila výstavbu tratí v rámci tramvajové sítě, probíhaly pouze rekonstrukce některých tratí v havarijním stavu. (Fojtík et al., 2005, 102–110)

⁵ Velká Praha vznikla rozšířením černých městských částí na Obrázku 3 o tmavě šedá území v roce 1922 a skokově tak vzrostl počet obyvatel hlavního města. Šedivou je pak mapa doplněna do současného stavu.

2.1.6 Poválečný rozvoj

5. května 1945 byl provoz tramvají přerušen kompletně. Jejich opětovné zprovoznění probíhalo postupně od 16. května. Rekonstruovat bylo třeba hlavně troleje ale i další zařízení a tratě. Do původního stavu se doprava dostala až v prosinci roku 1945. Do roku 1959 byla více méně stabilní, jezdilo celkem 23 tramvajových linek. Až na základě dopravního průzkumu v roce 1957 došlo k návržení úprav a vzniku 2 nových linek v roce 1959. Od roku 1961 začala významná přestavba sítě linek tramvají. Začátkem 60. let pak bylo rozhodnuto o ukončení rozvoje trolejbusové sítě a o jejím postupném konci. Došlo tak především k rozvoji autobusové dopravy, ale i té tramvajové, která tak prošla významnou rekonstrukcí jak traťových technologií, tak vozového parku. V roce 1971 vznikly také linky 33 a 34. Jednalo se o rekreační linky s vlastními čísly, které jezdily o víkendech do Braníka, kam se Pražané dopravovali za sportovním vyžitím u vody. Vše se pak změnilo se zavedením provozu metra. (Fojtík et al., 2005, 174–221)



*Obrázek 4 – Zrušená trať od ulice Na Veselí, kde dnes již opět jezdí tramvaje i rovně.
(Archiv serveru Pražské tramvaje, autor: Pavel Fojtík, [1981])*

2.1.7 Následky zahájení provozu metra do současnosti

Zahájení provozu metra na prvním provozním úseku linky C si vyžádalo hned první omezení v tramvajové dopravě. Bez náhrady zde byla zrušena trať od ulice Na Veselí směrem k Budějovickému náměstí. S rozvojem metra navíc mělo do roku 1990 dojít k postupnému

zrušení tramvají v centru města a transformaci systému z diametrálně radiální na okružně radiální síť. (Fojtík et al., 2005, 218–231) Taková síť měla mít významně segregované tratě jako jsou dnes existující úseky na Krejčárku, či trať do Modřan. Měly na nich jezdit vozy typu Tatra KT8D5, kterým se říkalo rychlodrážní. Bylo dokonce plánováno zrušení dnes tak významných tratí jako třeba na Vinohradech, v Karlíně, v Bělehradské ulici, v Hostivaři, Michli, mezi Smíchovem a Hlubočepy nebo na Spořilově (Fojtík et al., 2005, 218–231).

Podobně jako rozvoj metra ale měl na tramvajové tratě vliv i rozvoj silniční infrastruktury. Například přestavba severojižní magistrály a konkrétně mostu Barikádníků zapříčinila výrazné zhoršení dopravní dostupnosti oblasti Severního Města (Kobylisy nebo Ládví) z Holešovic. Objízdná trasa přes Libeňský most a Libeň jízdní dobu výrazně prodloužila. Do dvou let však vznikla nová alternativní trať po vlastním tramvajovém mostě v Holešovicích a dále Trojskou ulicí ke Stírce. Tramvajová trať ulicí V Holešovičkách byla odstraněna z linkových schémat. Přes probíhající odstraňování tratí však v této době jezdilo Prahou nejvíce tramvajových linek v historii, celkem 32 v nepřerušené číselné řadě od 1 do 32. Smyslem tohoto nárůstu linek bylo nabídnout širokou směrovou nabídku jako reakci na nepřestupní jízdné. Kvůli vysokému počtu cestujících s předplatným jízdným to však bylo spíše zbytečné. (Fojtík et al., 2005, 218–231)

Mezi Motolem a Vypichem byla na konci sedmdesátých let provozována provizorní trať pro manipulaci tramvají z důvodu rekonstrukce Plzeňské ulice na kapacitnější. Kromě jedné další tratě a to Hloubětín–Černý Most však tratě v příštích letech spíše mizely, než vznikaly. Dále byly zrušeny tratě na Bubenském nábřeží a v Bubenské ulici, v úseku Opletalova–Hlavní nádraží–Muzeum, celá trať ulicemi Koněvova a Husitské od Bulhara po Ohradu, Václavské náměstí a na Příkopech nebo v Hyberské. Tyto zrušené tratě chybí v pražském provozu dodnes. (Fojtík et al., 2005, 223–232) V díle *Od koňky k metru* se tento záměr potvrzuje: „Základním prvkem sítě MHD (...) je metro. (...) Růstem rozsahu tras metra v centru města dojde k postupné likvidaci tramvajové dopravy.“ (Pošusta et al., 1975, 74–75)



Obrázek 5 – Zrušená trať na křižovatce Václavské náměstí x Na Příkopě. (Zdroj: Archiv IPR)

V druhé polovině osmdesátých let se od koncepce odstraňování tratí naštěstí upustilo a konečně došlo k dalšímu rozvoji tratí v potřebných úsecích. Vystavěna byla estakáda mezi Ohradou a Palmovkou (jeden z prvních takzvaných otevřených kolejových svršků, kdy koleje nejsou zapuštěny do asfaltu nebo betonových panelů) a trať na řepské sídliště (čímž byl ukončen provoz na poslední konečné tramvaje s kuplováním, v Motole). To je výčet nových tratí do konce osmdesátých let. Trasy linek byly během výstavby metra v centru města dlouho spíše teoretické, měnily se s budováním nových stanic a svou novou podobu v reakci na trasy metra dostaly v roce 1985, kdy došlo ke snížení počtu linek na 26 a stabilizaci prodlužování intervalů v reakci na nedostatek pracovních sil, mezi zrušenými bohužel byla i významná trať Náměstí

Republiky–Perštýn, přestože se zpočátku uvažovalo o jejím zachování. (Fojtík et al., 2005, 223–232)

2.1.8 Od devadesátých let do současnosti

V roce 1991 byla v rámci příprav na Všeobecnou československou výstavu zavedena nostalgická linka 91, která jezdí v trase z centra města na Výstaviště dodnes (v současnosti dokonce až k Planetáriu). Změnou u ní prošlo pouze číselné označení na 41 (z důvodu poskytnutí devadesátkové řady nočním linkám). Tato linka vypravuje hlavně historické dvounápravové vozy, v dnešní době se však rozšiřuje flotila historické střešovické vozovny o další typy, například starší vozy Tatra, které můžeme na nostalgických linkách potkávat taktéž. Od devadesátých let přistoupil Dopravní podnik hlavního města Prahy (dále zkráceně jako Dopravní podnik) také k přizpůsobování dopravy pro osoby se sníženou pohyblivostí zaváděním nízkopodlažních tramvají a autobusů. Mimo to došlo k významnému zpřístupnění stanic metra stavbou výtahů. V roce 1996 došlo k významné změně v odbavování cestujících, kdy byly po desetiletích vyměněny mechanické označovače jízdenek za elektronické, čímž byl umožněn další rozvoj tarifního systému nejen v Praze, ale i v rámci celé pražské integrované dopravy. (Fojtík et al., 2005, 269–277) ⁶

V devadesátých letech už další rozvoj tramvajové sítě stagnoval. Byla dokončena pouze významná tramvajová trať z Braníka do Modřan. Významným zásahem do provozu byla rekonstrukce staroměstského předmostí Mánesova mostu spojená s konstrukcí podzemních garáží, která tuto oblast uzavřela na téměř tři roky. Přínosné bylo představení provizorního povrchového kolejového přejezdu typu Kalifornian, které umožňuje zachovat provoz i při přerušeném úseku z důvodu rekonstrukce části tratě bez nutnosti stavebních zásahů do podloží pro jeho postavení. Obousměrné tramvaje se pak mohou na konci přerušeného úseku obrátit

a jet zpět. Nelze také opomenout tragickou povodeň roku 2002, kdy byla významně poničena velká část sítě metra a tramvají. Některé oblasti byly úplně odříznuty, metro muselo končit daleko před hranicemi historického centra a nahrazeno bylo tramvajovou a autobusovou dopravou. Provoz byl obnovován postupně, jak voda ustupovala, a tratě bylo možné

⁶ Více se o historii a možnostech pořizování jízdenek můžete dočíst v Diplomové práci obhájené na Ústavu informačních studií a knihovnictví v roce 2021 od Mgr. Lucie Zdeňkové s názvem *Využití UX principů ve městě: Případová studie UX a UI při nákupu jízdného na MHD*

rekonstruovat. Posledním obnoveným úsekem byla trať v Karlíně, a to až v září roku 2003. (Fojtík et al., 2005, 225–310)

Z rozvojového plánu Dopravního podniku „Katalog rozvoje sítě tramvajových tratí v Hlavním městě Praze“ z roku 1995 s plánem zprovoznění do roku 2004 byly do dne sepsání této práce zkonstruovány ještě tyto tratě: Laurová–Radlická, Hlubočepy–Barrandov (– Holyně, ve výstavbě), Podbaba–Nádraží Podbaba. Naopak se zatím nepovedlo vybudovat mnoho dalších tratí z tohoto plánu: Sídliště Modřany–Sídliště Libuš, Bílá Hora–Řepy, Divoká Šárka–Dědina, Masarykovo nádraží–Florenc, Kobylisy–Bohnice, Pankrác–Budějovická–Zelený Pruh, Budějovická–Dvorce–Zlíchov a také prověřované studie na tratě Na Padesátém–Úvalská, Hostivař–Hornoměřcholupská–Petrovice, Počernická–Malešice, Spořilov–Sídliště Spořilov, Václavské náměstí–Muzeum a Motol–Vypich. (Fojtík et al., 2005, 225–310) Některé z těchto tratí však v posledních letech významně pokročily v přípravách a zdá se, že rozvoj tramvajové sítě bude ve 21. století opět pokračovat (Bajtlér, 2021).

2.2 Výzkum v oblasti silničních autonomních technologií

Cílem této podkapitoly je shrnout současný stav výzkumu v oblasti autonomních řídicích technologií. Jelikož se zbytek práce věnuje tramvajovým autonomním technologiím jsou některé části této problematiky pro automobily vynechány. Jedná se například o etiku, morální otázky, řízení automobilové dopravy, *multivehicle* (mnohovožadlo) a *connected cars* (propojené automobily), emise a příbuzná metodologie nebo rámce. Většina použité literatury byla vydána v posledních pěti letech, některá díla jsou starší, zvláště ty, které nabízí přehledovou funkci. Sběr relevantních článků byl proveden v online databázích. Více než 300 článků bylo prostudováno a necelých 100 článků bylo označeno relevantními k vybraným termínům. Skrz detailnější analýzu vyšlo 45 článků vhodných ke koherentnímu přehledu stavu výzkumu v oblastech, jež se vztahují k této práci. Na začátku podkapitoly je představena terminologie a strategie, následované nastíněním celého procesu autonomie, od lokalizace přes vidění, processing až k řídicímu rozhodnutí autonomního vozidla. Na konec jsou představeny také oblasti detailního výzkumu.

2.2.1 Terminologie

Terminologie je ve výzkumech klíčová. Většina textů považuje autonomní a samořízené automobily za stejnou oblast studia. Jeden z textů, který se studiu terminologie věnuje hlouběji,

vysvětluje, že se tyto pojmy používají zaměnitelně, přesto však mohou značit jiný stupeň autonomie. (Contreras-Castillo, Zeadally, & Guerrero-Iba, 2019) Z počátku odkazovala prostudovaná literatura na metodologii *National Highway Traffic Safety Administration* (Národní úřad pro bezpečnost na dálnicích, dále jako NHTSA) a její úrovně autonomie obsahující 5 stupňů od 0 do 4 (Berger & Rumpe, 2012). V roce 2016 přijalo NHTSA *Society of Autonomous Engineers' methodology* (metodologie Společnosti inženýrů autonomie), která rozděluje čtvrtý stupeň autonomie, plná autonomie samořízení, na vysokou autonomii a plnou autonomii. Tím se skončilo s počtem šesti stupňů označených 0 až 5. (Contreras-Castillo, Zeadally, & Guerrero-Iba, 2019; Zanchin, Adamshuk, Santos, & Collazos, 2017; Jones, 2017; McCall et al., 2019).

Tato podkapitola se bude věnovat čistě samořídícím vozidlům a oblast propojených automobilů bude vynechána. Přesto některé texty tyto dva pojmy považuje za ortogonální a potřebné jeden pro druhý. Hussain říká, že efektivní párování těchto dvou technologií posiluje jejich synergii směrem k úspěšnější realizaci inteligentního dopravního systému (Hussain & Zeadally, 2019, 1286). Hned několik studií identifikuje proces o třech fázích, kterým popisuje strategii autonomního vozidla při řízení. Jejich pojmenování se liší, sense-plan-act („vnímej-plánuj-konej“; Berger & Rumpe, 2012), acquire-process-act („získej-zprocesuj-konej“; Hussain & Zeadally, 2019), perception-planning-control („vnímání-plánování-řízení“; X. Li, Tang, Ball, Doude, & Carruth, 2019). Nicméně jednotlivé referenční pojmy v tomto schématu lze vidět jako slova příbuzná. Některé texty jdou ještě dále a přidávají i čtvrtou fázi: perception and localization, high-level path planning, behavior arbitration or low-level path planning, motion controllers („vnímání a lokalizace, plánování trasy vyššího stupně, řízení chování a plánování trasy nižšího stupně, ovládání pohybu“; Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019).

2.2.2 Lokalizace

První významnou oblastí zájmu ve výzkumu autonomních vozidel je lokalizace. Většina výzkumných článků považuje GNSS („Globální družicový polohový systém“) za nenahraditelný zdroj dat v této oblasti (Berger & Rumpe, 2012; Hussain & Zeadally, 2019; S. Wang, Deng, & Yin, 2016; Li, Sun, Liu, Xu, & Wang, 2019). Nicméně nedostatky GNSS,

ve většině prací konkrétně GPS⁷, v určitých oblastech světa anebo za určitých okolností představují významný problém v jeho využívání (Berger & Rumpe, 2012). Z tohoto důvodu mnoho výzkumníků navrhuje kombinovat informace z GNSS s dalšími zdroji pro získání přesnější lokalizace či pro stanovení lokalizace v případě absolutní ztráty informací z GNSS. Zástupná data může poskytovat LIDAR, zkratka pro Light Detection and Ranging method (v překladu „metoda světelné detekce a vytyčování“; Gwak et al., 2019; Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019), vizuální odometrie (Gwak et al., 2019; Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019; Rangan, Yalla, Bacchet, & Domi, 2018; Zhang, Martinez, Clarke, Cao, & Knoll, 2019; Abosekeen, Karamat, Noureldin, & Korenberg, 2019) a použití gyroskopu, akcelerometru nebo obecně měření jednotek setrvačnosti (Hussain & Zeadally, 2019; Gwak et al., 2019; Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019; S. Wang, Deng, & Yin, 2016; Li, Sun, Liu, Xu, & Wang, 2019; Abosekeen, Karamat, Noureldin, & Korenberg, 2019). Další výzkumníci navrhují využití neuronových sítí (Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019; Zhang, Martinez, Clarke, Cao, & Knoll, 2019). Problematickým tématem v oblasti lokalizace je rozhodně bezpečnost. Mapové aplikace, které hrají při lokalizaci velkou roli, mohou být relativně snadno napadnutelné, což by mohlo u autonomního vozidla způsobit vytyčení zcela jiné trasy, než byla původně zamýšlena. Opatření proti takové situaci by neměla být opomenuta. Jednou z možností obrany je využití obfuscatoru kódu. (Luo, Cao, Liu, & Benslimane, 2019).

2.2.3 Vidění

Dalším současným tématem ve výzkumu autonomního řízení je problematika snímání okolí, počítačové vidění. LIDAR patří k nadějným technologiím podle mnoha výzkumů (Berger & Rumpe, 2012; Zanchin, Adamshuk, Santos, & Collazos, 2017; Hussain & Zeadally, 2019; Gwak et al., 2019; Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019; Arnold et al., 2019; Bilik, Longman, Villeval, & Tabrikian, 2019). Ten bývá doplněný o data ze senzorů pro specifické účely (Berger & Rumpe, 2012; Zanchin, Adamshuk, Santos, & Collazos, 2017; Hussain & Zeadally, 2019; Gwak et al., 2019) anebo kamer (Hussain & Zeadally, 2019; Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019; Arnold et al., 2019). Existuje několik výzkumů, které se věnují zkvalitnění výstupů z tohoto zdroje vidění, jeho přesností a reliabilitou (Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019; Arnold et al., 2019; Ghosh et al., 2019), zatímco jiné práce

⁷ GPS (zkratka pro Global Positioning System, „globální polohový systém“) je jedna z mnoha geolokalizačních družicových služeb, konkrétně tato je vlastněna Spojenými státy Americkými a provozována jejich Vesmírnými silami.

se zaměřují na syntézu vícero senzorů (Hussain & Zeadally, 2019; Gwak et al., 2019; Péter, Kiss, & Tihanyi, 2019), například pro určení hloubky v 2D snímcích (R. Palafox, Betz, Nobis, Riedl, & Lienkamp, 2019; Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019; Hussain & Zeadally, 2019). Při využívání radarů se potýkáme ve velké míře s rušením: „Radar vozidla trpí na tři druhy rušení: samo-interference, křížová interference z dalších radarů na vozidle a interference z radarů dalších vozidel“ (volně přeloženo z Bilik, Longman, Villeval, & Tabrikian, 2019, 2 23). Někteří autoři navrhují vlastní konvoluční neuronové sítě pro účely celkového vidění vozidel (K. Wang et al., 2019) nebo pro specifické úlohy s tím spjaté například detekce silnice, či pruhů (Dong, Zhao, Fan, Shen, & Liu, 2019; Deng et al., 2019; R. Palafox, Betz, Nobis, Riedl, & Lienkamp, 2019). Algoritmy jsou pak použity pro konkrétní úkoly jako rozeznání překážky (P. Wang, Gao, Li, Sun, & Cheng, 2019) či změnu jízdního pruhu (Péter, Kiss, & Tihanyi, 2019). Dle některých studií by nejspíš mohla autonomní vozidla řídit čistě na základě neuronových sítí bez dalších aktivních senzorů (Gwak et al., 2019).

2.2.4 Porozumění datům

Smyslem pro sběr velkého množství dat o okolí vozidla je pochopit význam získaných dat, identifikovat okolní objekty a predikovat možnou trajektorii objektů (Berger & Rumpe, 2012). I když je vytvoření 100% spolehlivého algoritmu velkou výzvou, které možná nikdy nedocílíme, je dosažení 84% či lepší spolehlivosti skvělým začátkem (Hussain & Zeadally, 2019) a fúze dat se jeví jako slibná cesta k lepším výsledkům (Hussain & Zeadally, 2019). Významnou pomoc v této oblasti výzkumu poskytují opět neuronové sítě (Bilik, Longman, Villeval, & Tabrikian, 2019). Rozličné metody hloubkového učení jako například hluboké zpětnovazební učení (Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019) nebo konvoluční sítě (Gwak et al., 2019) využívají mnohá výzkumná uskupení. Kombinované víceetapové metody učení lze využít pro specifické požadované účely v rozhodování (Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019).

2.2.5 Rozhodování

Jakmile jsou všechna data získána a bylo jim porozuměno, přichází na řadu rozhodování o dalších řídicích akcích. Inspirovány lidskými řidiči, snaží se současné výzkumy imitovat chování řidičů v konkrétních řídicích akcích, například při vyhýbání se dalším lidským řidičům v situaci autonomního řízení (Huang et al., 2020). Pro plánování trasy se často objevuje metoda plánování potenciálního pole (původně „potential field planning method“; Martínez

& Jiménez, 2019; Huang et al., 2020), obohacena o metodu teorie her (Yoo & Langari, 2019). Dalším algoritmus pro generování trasy na základě predikce bodu nehody přináší slibné výsledky, „nicméně je náročné predikovat, kdy plánuje další vozidlo změnit jízdní pruh jen na základě pohybu těchto vozidel bez pomoci komunikační infrastruktury jako například V2X [Vozidlo–kdokoli]“ (volně přeloženo z Park, Jeong, Yu, & Hwang, 2019, page 518). V2X je významnou oblastí pro rozhodování v zabraňování nehod. S využitím Gaussových procesů (Osipychiev, Tran, Sheng, & Chowdhary, 2017) je tato metoda schopna vyhnout se vozidlům řízeným lidskými řidiči, zatímco hierarchická architektura kontroly může poskytovat rozhodování pro krizové řízení (He, Liu, Lv, Ji, & Liu, 2018). Asistenti řízení jsou pro současné stupně autonomního řízení stále zajímavým tématem. Například zvukový stimulant je hodnotný nástroj zabraňující vzniku nehod ve chvíli, kdy řídí lidský řidič (Şahin, Atabay, & Akalin, 2018). Využitím Skrytého Markovova modelu je možné odhalit záměry řidiče, vyhodnotit pravděpodobnost srážky, měřit data o zatáčení a sledovat výrazy tváře, a tak zabránit chybám lidského řidiče díky autonomním technologiím (Tran et al., 2019). Pro specifické účely jako je například řízení mimo silnice je dobré využít metodu 3D sítě obsazenosti, aby se vozidlo nepřevrátilo v náročném terénu (X. Li, Tang, Ball, Doude, & Carruth, 2019). Využití umělé inteligence je rozhodně nastupující trend (Payalan & Guvensan, 2020). Hluboké učení (Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019; Qian, Xu, Zeng, & Huang, 2019) nebo zpětnovazební neuronové sítě (Chen, Hu, & Wang, 2019) přináší velký potenciál a další výzkum v těchto oblastech nadále probíhá. NVIDIA je dle všeho leaderem ve výrobě procesorů schopných autonomního řízení za využití umělé inteligence (Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019).

2.2.6 Další výzkum





Ostatní specifické oblasti výzkumu se věnují například sledování pruhů, jejich změně a držení se v nich (Gwak et al., 2019; Bian et al., 2020; García Cuenca, Puertas, Fernandez Andrés, & Aliane, 2019; García Cuenca, Sanchez-Soriano, Puertas, Fernandez Andrés, & Aliane, 2019), pokynům k zatáčení (Grigorescu, Trasnea, Cocias, & Macesanu, 2019), předání řízení ze stroje na člověka a obráceně (McCall et al., 2019), sledování únavy řidiče (Costa, Oliveira, Pinto, & Tavares, 2019; Hahm & Park, 2019), poskytování vizuálních a zvukových informací a upozornění řidičům s postižením (Son, Jeong, & Lee, 2019) a zabezpečení sítě uvnitř vozidla (Boumiza & Braham, 2019). Zabezpečení všech procesů zmiňovaných výše je často vyzdvihovanou výzvou pro budoucnost autonomního řízení (Berger & Rumpe, 2012;

Contreras-Castillo, Zeadally, & Guerrero-Iba, 2019; Hussain & Zeadally, 2019). Pro tyto a další účely je dle některých autorů myšlenka samostatných řídicích jednotek pomalu odsunována a metoda propojených vozidel je naopak na vzestupu (Hussain & Zeadally, 2019).

2.3 Autonomní technologie pro tramvaje

2.3.1 Stupně autonomie

Pro jasnější definování požadované automatizace technologií na cestě k vývoji plně autonomní tramvaje je potřeba zvolit konkrétní vývojový rámec. V kapitole 2.2.1 bylo zmíněno několik způsobů členění stupňů autonomie, které se ale běžně používají u automobilů. Pro vývoj autonomní tramvaje se nabízí použití zavedené stupnice GoA (zkratka pro Grade of Automation, „stupeň automatizace“), využívané v městské hromadné dopravě u autonomního metra. Má celkem 5 stupňů (od nuly po čtyřku) a rozlišují se u ní operace vycházející z činnosti pracovníků na dráze. (Cappaert-Blondelle, 2012)

Grade of Automation	Type of train operation	Setting train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of Disruption
GoA 1 	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2 	ATP and ATO with driver	Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3 	Driverless	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
GoA 4 	UTO	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

ATP - Automatic Train Protection ATO - Automatic Train Operation

Obrázek 6 – Stupně automatizace. (The International Association of Public Transport, [2012])

Při GoA 1 s podporou ATP (zkratka pro automatic train protection, „automatická vlaková ochrana“) probíhá řízení vlaku stejně jako při GoA 0 (provoz bez automatizace) s tím rozdílem, že vlak na pozadí kontroluje činnost řidiče/strojvedoucího a v případě, že ten nedodrží požadovanou předepsanou rychlost dle omezení na trati či signalizace vlak zastaví záchrannou brzdou. (Agency for Railways, 2017)

U stupně GoA 2 přebírá rutinní řízení vlaku automat, řidič/strojvedoucí pouze dozoruje správné vedení vlaku a má na starosti odbavování cestujících, případně řízení vlaku v nestandardní situaci.

Stupeň GoA 3 znamená, že ve vlaku již není přítomen řidič/strojvedoucí. Na palubě je však přítomna poučená osoba, stevard nebo jiná obsluha. Nemusí dozorovat automatické vedení vlaku, má i nadále na starosti odbavování cestujících a operativní řízení vlaku v případě mimořádné události.

Při stupni GoA 4 již nemusí být na palubě přítomen poučený zaměstnanec. Veškeré operativní činnosti vlaku probíhají automaticky a autonomně včetně mimořádných situací, případě na dálku z dispečinku.

Výhodou tohoto existujícího standardu je, že na rozdíl od dělení pro automobily v sobě obsahuje funkce řidiče (strojvedoucího) jako je například obsluha dveří. Nedostatkem se jeví to, že pohyb tramvaje městskou ulicí je komplikovanější než v uzavřeném systému metra. Přesto je z existujících standardů zřejmě nejvíce odpovídající. Inspirují se jím i samotní výrobci tramvají, například francouzský výrobce tramvají Systra (Melenchon, 2018, 9).

2.3.2 Relevantní dopravní projekty

Tramvajová doprava se liší od běžné železniční v tom, že se v nemalé míře nachází v městském prostoru, je součástí ulic a veškerého provozu. Z tohoto důvodu vychází autonomní tramvajová doprava technicky z velké části právě z principů silniční autonomie. Musí totiž reagovat, podobně jako automobil, na okamžité dění v ulicích: pohyb chodců, nekontrolované přejezdy automobilů přes trať, objekty překážející v cestě (v průjezdním profilu). Přesto už nyní najdeme hned několik projektů tramvaje budoucnosti, které mohou sloužit jako inspirace při navrhování nové autonomní tramvaje pro Prahu.

Krakov

Tramvaj Nevelo 126N polského výrobce Newag jezdí v Krakově od roku 2012. V loňském roce byl na tento typ tramvaje doinstalován autonomní systém řízení. Za účasti vrcholných osobností dopravního podniku, správců města a partnerských institucí zde v lednu proběhla testovací jízda tramvaje. Při ní se vlak sám rozjel, zastavil v zastávce a otevřel dveře. Pohyb vlaku probíhá na bázi satelitní navigace a současného měření ujeté vzdálenosti. Při jízdě se vlak řídí stanovenými rychlostmi z databáze, je schopný vyřazovat jízdu při přejezdu přes úsekový dělič (takzvanou sekci) a zároveň se na něm testuje i detekce překážek čili antikolizní systém. Po úspěšné testovací jízdě se na projektu i nadále pracuje s cílem představit autonomní vlak, který bude jezdit za dozoru řidiče s funkčním antikolizním systémem na bázi radaru infračerveného záření, tedy stupně GoA 2. (Urbanowicz, 2020) (Górowski, 2020)



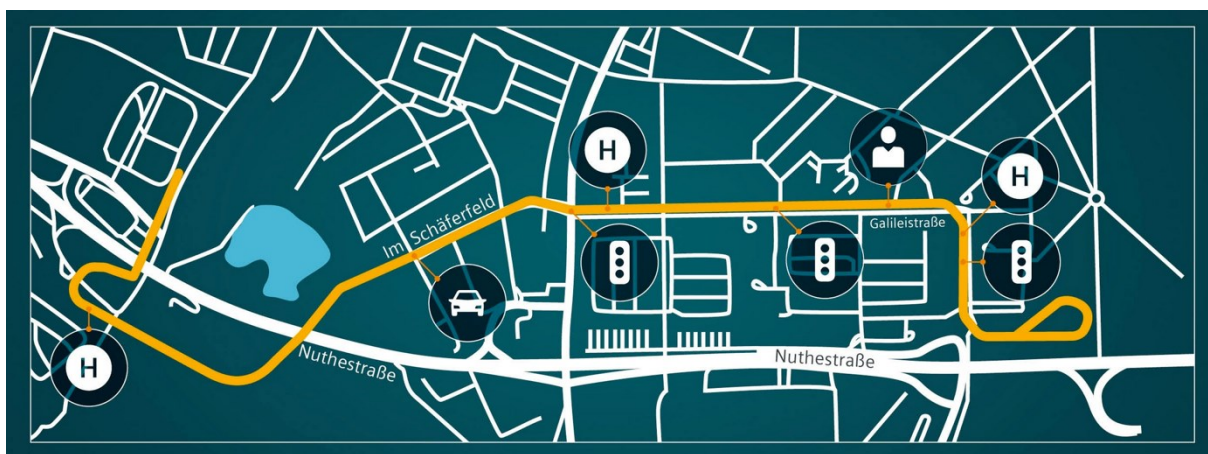
Obrázek 7 – Stanoviště řidiče pilotního autonomního vlaku Newag Nevelo 126N v Krakově. (Newag Group, [2020])

Postupim

V Postupimi testoval výrobce Siemens Mobility s místním dopravním podnikem Verkehrsbetrieb Potsdam, Karlsruhe Institute of Technology a Institute for Climate Protection, Energy and Mobility první autonomní tramvaj. Toto testování bylo součástí mnohaletého projektu s jasnou vizí. Po několika letech úspěšného testování asistenta řízení v Siemens tramvajích byl pilotní projekt autonomní tramvaje v roce 2018 v reálném provozu dalším významným krokem. Otestovalo se chování tramvaje v běžném provozu, ale i zinscenovaná potenciální kolize, kdy tramvaj úspěšně zastavila před kočárkem, který vjel na tramvajový svršek. (Siemens Mobility, 2019) (Cölln, 2019) (Kramer, 2018)

Po úspěšném pilotu se Siemens pustil do projektu automatického depa, na kterém opět pracuje se svými partnery na základě předešlé úspěšné spolupráce. Automatické depo má zajistit takové funkce jako je automatický pohyb vlaků po kolejové harfě, otevírání dveří depa nebo mytí vlaků. Až bude tento projekt hotov, Siemens má ambici jej komercializovat do dalších dopravních podniků. Následným krokem je trvalé nasazení vozů s autonomním řízením pod dohledem řidiče (GoA 2) ve vybraných úsecích a řízením pouze řidičem v náročnějších úsecích do provozu v Postupimi. Časem pak hodlá přejít na plně autonomní provoz po celé

trase (pravděpodobně formou GoA 3 nebo GoA 4 dle přijetí veřejností). Technologický ředitel postupimského dopravního podniku se nechal slyšet, že k této poslední fázi nedojde dříve než za 20 až 30 let, pokud vůbec, a i tak nejprve v režimu GoA 3. Celkové náklady na vývoj projektu nejsou známy. Siemens však na vývoj automatického depa získal federální podporu od ministerstva dopravy ve výši 2,7 milionu Eur. Dopravní podnik se na vývoji finančně nepodílí. Poskytuje k němu svůj areál, testovací tramvaj, řidiče a další provozní zaměstnance včetně projektového manažera, který projekt interně zastřešuje. Tento tříkrokový projekt (depo–částečný provoz–autonomní provoz) nabízí dobrou inspiraci pro další dopravní podniky a výrobce při snahách posunout tramvajový provoz na novou úroveň. (Siemens Mobility, 2019) (Cölln, 2019) (Kramer, 2018)



Obrázek 8 – Schéma testovací autonomní tratě v Postupimi. (Siemens, [2018])

Dauhá

V Dauhá, v Kataru, se spojil výrobce Siemens s místním výrobcem a dodavatelem infrastruktury, společností Leighton Contracting Qatar WLL s cílem vybudovat v místním Education City campus (překl. „kampus Vzdělávací čtvrt“) úspornou tramvajovou dopravu pro studenty a návštěvníky s názvem Qatar Education City People-Mover System (překl. „Katarský systém převozu lidí ve Vzdělávací čtvrti“). Flotila devatenácti tramvají bude jezdit v rámci jedenáctikilometrové sítě, kde budou vozy poháněny bateriemi. Ty se budou dobíjet v každé z osmnácti zastávek, na konečné a v depu. Tento hybrid energy system (překl. „hybridní energetický systém“) je úplnou novinkou ve vývoji Siemens. Využívá k provozu baterií a kapacitorů, každého dle jeho předností. Dvouvrstvé kapacitory jsou hlavním zdrojem energie při rozjezdu na krátké vzdálenosti, zatímco supervýkonná baterie se použije při delší jízdě k udržování rychlosti při volnoběhu. Oba systémy se pak dobíjejí rekuperací při brzdění a následně i v zastávkách. Pro Siemens se bude jednat o vlajkovou loď v prezentaci

tohoto moderního systému bez trolejové infrastruktury. Siemens nyní nabírá zkušené řidiče tramvají pro rozjíždějící se provoz a hodlá se projektem prezentovat v rámci Světového poháru FIFA v roce 2022. Nejedná se sice o autonomní tramvajový provoz, přesto se z hlediska použití pokročilých technologií jedná o významný projekt v oblasti tramvajové dopravy. (Engineering Consultants Group, 2019) (Siemens AG, 2015)



Obrázek 9 – Tramvajový vlak Siemens Avenio pro Dauhá. (Siemens, [2018])

2.4 Pokročilé technologické prvky u současných pražských tramvají

Pro přiblížení technologického pokroku a nastínění stavu v současném provozu tramvají představí tato kapitola některé funkce posledního vozu pražské flotily. V současné době nejmodernější pražská tramvaj Škoda 15T (prodejní název Škoda ForCity Alfa) byla představena v roce 2008. Od té doby bylo do Prahy dodáno celkem 250 vozů tohoto typu s různými odchylkami od svého původního návrhu. Vozy nejnovější se liší svým vnějším vizuálním kabátem, přítomností klimatizace salonu pro cestující, typem dveří a modernějším informačním systémem. Tyto odlišnosti však nejsou pro tuto práci příliš podstatné. Zkušenosti se řízením pražských vozů pochází z praxe autora práce mezi lety 2019–2021 (pokračuje po odevzdání této práce), ostatní zdroje jsou ocitovány.

2.4.1 Pohon tramvají

U pražských tramvají jezdících v běžném provozu s cestujícími můžeme vystopovat různé typy trakčních motorů. Nejstarší tramvaje jsou poháněny takzvanými stejnosměrnými sériovými motory a odporovou regulací výkonu s nízkou účinností. Tyto vozy jsou dnes již raritou. Vozy s tímto nejstarším typem regulace z ulic postupně mizí a jsou nahrazovány modernějšími, případně jsou využívány pro zážitkové a historické jízdy. Střední generace pražských tramvají jsou poháněny stejnosměrnými motory s pulzní regulací výkonu, která má vyšší účinnost. Tou se může pyšnit většina pražských tramvají od výrobce ČKD Tatra jako jsou typy T3R.P, T6A5 nebo KT8D5. Modernější tramvaje Škoda 14T jsou poháněny střídavými třífázovými asynchronními motory se složitou výkonovou elektronikou pro regulaci. Díky tomu je poprvé použito počítačového řízení v podobě nadřazeného řízení a tak tyto tramvaje nabízejí více možností ovládání vozu. (Caletka, 2007, 3) Vůz Škoda 15T má naprosto unikátní řešení podvozků a pohonů. První a poslední podvozek jsou podvozky otočné s bodem otáčení blíže ke středu vozu. Dva střední podvozky jsou takzvané Jacobsovi podvozky. (Fojtík et al, 2017, D.8.256) „Jacobsův podvozek je typ železničního podvozku, který je umístěn přímo pod přechodovým měchem mezi dvěma sousedními články vozidla. Jacobsův podvozek, na rozdíl od konvenčního podvozku, je společný dvěma sousedním skříním vozidla“ (Folwarczny, 2020, 10). Jediným mechanickým propojením sousedních skříní respektive článků tramvaje je tedy podvozek. Jeho utopení pod měchy navíc poskytuje benefit v lépe strukturovaném interiéru tramvaje. Není tak potřeba schovávat technologické části podvozku například pod sedadla, či do skříní v interiéru. Vozidlo 15T má celkem čtyři podvozky, přičemž jsou všechny čtyři trakční. Každý ze čtyř podvozků je vybaven kapalinou chlazeným trojfázovým synchronním motorem s buzením permanentními magnety na rotoru. Jeden takový motor pohání vždy přímo jedno kolo vozidla, a tak jich je na voze celkem šestnáct. To je významná odlišnost od ostatních typů tramvají pražské flotily. Běžně motor celou nápravu, tedy dvojici kol. U vozu 15T je řízení řešeno skrz řídicí počítač a systém s komunikací přes sběrnici CAN, která je standardem v automobilovém průmyslu (Fojtík et al, 2017, D.8.256). Stejně jako vůz Škoda 14T i vůz Škoda 15T lze přímo řídit počítačem, což umožňuje použití pokročilých řídicích technologií viz dále.

2.4.2 Ovládání vozidla

Nejzásadnější funkcionalitou tramvaje jsou bezesporu její jízdní vlastnosti. Řidič má možnost ovládat jízdu a brzdu vozu Škoda 15T hned několika způsoby.

Ruční řadič

Primární ovládání vedení vlaku provádí řidič přes ruční řadič (nebo též kontrolér). Jedná se o pákové zařízení vestavěné na levé straně stanoviště řidiče v blízkosti jeho sedadla. Během jízdy je řidič povinen držet svou ruku na ručním řadiči, aby mohl okamžitě reagovat na situaci v okolí vozu. Nakloněním řadiče ze svislé polohy polo otáčivě směrem vpřed zadává řidič povel k jízdě, přitažením k sobě povel k brzdění vlaku. Na řadiči je ještě umístěn zvonec a světelná houkačka (dálková světla). (Fojtík et al, 2017, D.8.256)

Tempomat / malá brzda

Ruční řadič má navíc dvě specifické polohy řadiče kromě běžné jízdy a brzdy. První poloha na řadiči vpřed je aretovaná a reprezentuje tempomat řízení. Při přesunutí řadiče do této polohy vůz přebírá kontrolu nad tím, kolik výkonu do jízdy vloží, aby vlak udržoval konstantní rychlost. Této funkce může řidič využít při jízdě na rovině, či do svahu (tedy v tu chvíli kdy by vlak při vyrazení řadiče do středové polohy zpomaloval).

Malá brzda je naopak první polohou řadiče ve směru vzad, ale není aretovaná. Tato poloha pomáhá řidiči udržovat konstantní rychlost při jízdě ze svahu, kdy by na rozdíl od tempomatu vlak při umístění ručního řadiče do středové polohy zrychloval. Alternativou k této funkci jsou pak omezovače rychlosti.

Omezovač rychlosti

Kromě ručního řadiče má řidič ve voze 15T k dispozici omezovač rychlosti přístupný přes panel nadřazeného řízení. Ve stupních po pěti kilometrech v hodině lze nastavit stiskem tlačítka rychlost, kterou vlak nepřekročí. Řidič může mít v tuto chvíli ruční řadič ve svislé poloze a vlak přesto sám brzdí.

Automatika na pozadí

Z výše uvedeného je zřejmé, že při využití omezovačů rychlosti a funkce malé brzdy reguluje brzdu vlaku počítač. Řidič tedy nemá přímý vliv na brzdný moment tramvaje. Ten si dle sklonových a sjízdových podmínek reguluje počítač tramvaje sám. Podobné přepočítávání nicméně probíhá i při řízení pomocí ručního řadiče. Kromě polohy ručního řadiče stanovuje tramvaj požadovanou velikost otáček i na základě sklonových podmínek, polohy vlaku (např. v oblouku) apod. Pro zjednodušení lze říct, že zadání plné jízdy (maximální poloha na ručním řadiči vpřed) bude mít jiný otáčivý efekt kol při jízdě ze svahu a do svahu. Tento jev přišel do Prahy až s tramvajemi Škoda. Předchozí typy tramvají tento mezikrok ve formě

přepočítávání počítačem nemají a reagují přímo na povely řidiče buď na ruční řadič, či pedál (dle typu tramvaje) – přímá odporová/pulzní regulace.

2.4.3 Elektronická mapa

Z pohledu ovládání jízdního momentu má současná pražská flotila některé funkce, které mají blízko k prvkům u autonomních tramvají. Kromě zmíněného přepočítávání ideálního momentu jízdy a brzdy jsou nejnovější pražské tramvaje vybaveny technologií EMA (zkratka pro Elektronickou MAPu). EMA je databáze pražské kolejové sítě, která dává počítači tramvaje informaci o tom, kde se v rámci kolejové sítě nachází a jakou má v tomto úseku předepsanou rychlost. Informaci o této předepsané rychlosti vidí řidič při jízdě na tachometru displeje nadřazeného řízení. Při jízdě se mu také průběžně objevuje upozornění na blížící se změnu předepsané rychlosti. Pokud na zprávu nereaguje a pokračuje v rychlosti vyšší, počítač zasáhne do jízdy a brzdou akcí sníží rychlost vlaku na požadovanou. Na tuto technologii lze nahlížet jako na pojistku před chybami řidiče.

Funguje však pouze na známém kolejovém svršku, využívá pro svůj provoz databázi kolejové sítě. Na kole vlaku je umístěna čtecí hlava, která snímá otáčení kol otáčkovým čidlem. Otáčky jsou přepočítány na ujetou vzdálenost vlaku. V případě nepřesností v měření ujeté vzdálenosti (např. při skluzu kola, či závadě) je EMA vyřazena z provozu. Základem této technologie jsou kalibrační body rozmístěné v rámci celé kolejové sítě, nachází se za každou výhybkou, nejdále po 2 km tratě. Vůz je kromě čtecí hlavy na kole vybaven ještě čtečkou RFID, která průběžně kontroluje projetí kalibračními body na trati. EMA se nespolehá na kamery, radar, či družicový systém jako to dělají autonomní vozidla. Přesto se jedná o fungující řešení s nízkou finanční náročností, které se těmito technologiím v mnohých směrech blíží.

EMA nabízí hned několik funkcí: spolupracuje s řidičem na hlídání omezených rychlostí, vyhlašuje automaticky zastávky, hlídá odchylky od jízdního řádu, ovládá osvětlení v prostoru cestujících při průjezdu tunely, řídí přimazávání kolejnic v obloucích a na výhybkách a dokáže řidiče upozornit na nesprávně zvolený směr přestavení radiově ovládané výhybky.

2.4.4 Automatické ovládání dveří

Další technologií, kterou budou autonomní tramvaje časem poskytovat je automatické ovládání dveří. U vozů Škoda dává řidič při příjezdu do zastávky povel k uvolnění dveří (umožnění výstupu a nástupu cestujících). Při stisknutí tlačítka dveří cestujícími dojde k otevření

konkrétních dveří vlaku a čidla v prostoru mezi křídly dveří sledují pohyb cestujících. Pokud po dobu několika vteřin neprobíhá v těchto dveřích pohyb cestujících, resp. se zde nenachází předmět, který by přerušil optickou závoru, dojde k automatickému uzavření dveří za zvuku a světla výstrahy.

Tato funkce je volitelná. Řidič ji může vypnout a dozorovat výstup a nástup cestujících sám buď skrz zpětné zrcátko, na obrazovce kamer, či přes vypouklé zrcadlo v prostoru zastávky, pokud se zde takové zrcadlo nachází (u zastávek v oblouku). Řidič také může provést otevření všech dveří, což je varianta, která se používá od roku 2020 z důvodu protipandemických opatření proti onemocnění Covid-19.

V kontextu autonomie je automat dveří částečně autonomní technologií, fungující na principu čidel umístěných v prostoru dveří. Řidič při odbavování přebírá funkci dozorovací a samotný akt odbavení cestujících si vlak řídí sám. Stojí za zmínku, že běžně se zrovna ovládání dveří nechává pod taktovkou řidiče/strojvedoucího ještě i ve vyšších stupních autonomie, viz kapitola 2.3.1 Stupně autonomie.

2.5 Vývoj v roli řidiče tramvaje

Při studiu vývoje činností řidiče a dalších provozních zaměstnanců nejlépe slouží zápisy ze služebních směrnic. Z těch víme o vozech první pražské koňky v roce 1876, že se na voze nacházeli dva provozní zaměstnanci: kočí a konduktér (chápejme jako průvodčího). Tito zaměstnanci přicházeli do práce nejpozději 10–15 minut před odjezdem prvního vozu z depa, pro srovnání dnes řidič nastupuje 20 minut před výjezdem přímo svého vlaku z depa. Za zmínku stojí, že kočí byl konduktérovi podřízen. Kočí měl zakázáno interagovat s ostatními kromě konduktéra (dorozumívali se pískáním) a nesměl například kouřit. Za vlastní škody způsobené zaměstnavateli nesl finanční odpovědnost. Víme také, že provozní zaměstnanci pracovali celých 15 hodin služby a při stávce požadovali zkrácení služeb na 12 hodin a poskytnutí obědové přestávky. (Pošusta et al., 1975, 13–14)

Konduktéři tedy provoz reálně řídili. Museli například „při shluknutí lidu a podobných událostech (...) kráčet před vozem, dělati mu volné místo, co zatím kočí, dáváje bez ustání píšťalkou znamení, krokem za ním jede“ (Fojtík et al., 2005, 18). V případě mimořádné události na trati zase „kdyby na kolejích, kudy vůz jeti má, byla nějaká překážka, která se na rychlo odstraniti nedá, ku příkladu vůz se zlamanou nápravou a. p., má konduktér se svým vozem až k samé překážce dojeti, odtud doběhnouti na nejbližší výhybku před sebou a pobídnouti

první tam došlý vůz, aby výhybku přešel a rychle k překážce jel. Tam se přepřáhne, hosté přestoupí, a vozy jedou, jako by se bylo křižovalo, dále.“ (Fojtík et al., 2005, 18) Na tomto příkladu je zřejmé, že již od počátku městské kolejové dopravy bylo potřeba studovat scénáře událostí v rámci kolejové sítě a připravovat pro ně opatření a pokyny pro zaměstnance podniku.

Práce dvojice zaměstnanců byla velmi náročná, ke konci devatenáctého století doznívala malá doba ledová, a tak byly směny hlavně v zimních měsících až nebezpečné. Díky zvyklosti obyvatel platit v dopravě spropitné byla jak za provozu koňky, tak prvních tramvají práce konduktérů, respektive průvodčích lépe placená než u kočích, respektive řidičů. Nicméně role řidiče se oproti funkci kočího povýšila a základní mzdu měl řidič vyšší než průvodčí. Řidič musel být vyučený černému řemeslu, a to byl důvod pro povýšení této role při přechodu od koněspřežné dráhy. Kromě odbavování cestujících měl průvodčí na starosti i přestavování výhybek, obsluhu sběrače a také připojování a odpojování vozů vlaku. Tuto roli převzal řidič až se zavedením jednosměrných vlaků a výhybky si ručně přestavoval až do zavedení spolehlivých elektromagneticky ovládaných výhybek. (Fojtík et al, 2020, J.6.30–32) Na základě požadavku při stávkách zaměstnanců pražských elektrických drah v roce 1908 vyšel tohoto roku první služební řád. Na základě něj byli provozní zaměstnanci děleni do kategorií podúředníků, služebníků (to byli řidiči a průvodčí) a výhybkářů, které určovali jejich mzdové podmínky a další benefity. (Pošusta et al., 1975, 23)

Požadavek na vyšší počet průvodčích přišel s vypravováním třívozových vlaků, které bylo nově ministerstvem železnic schváleno pro provoz s cestujícími. (Fojtík et al, 2020, J.6.31) To a mobilizace, tedy odchod mužů na frontu První světové války, přivedlo do řad zaměstnanců Elektrických drah také ženy, průvodčí. V roce 1915 jich bylo zaměstnáno 40. Na konci války jich bylo už 375. (Fojtík et al., 2005, 91) K jejich propuštění došlo k 1. dubnu 1920. (Fojtík et al, 2020, J.6.31) Obdobná situace se pak udála během druhé světové války, kdy bylo u podniků zaměstnáno v roce 1942 1770 žen a v roce 1944 se z důvodu nedostatku zaměstnanců prodloužila týdenní pracovní doba na 60 hodin týdně. (Pošusta et al., 1975, 36) Řidič byl od počátku dělník. Musel pracovat rukama, ve stoje. O sedátkách se uvažovalo ve 20. letech, ale kvůli bezpečnosti nebyly zavedeny. Až po druhé světové válce se k zavedení přistoupilo, a to v roce 1948. (Fojtík et al., 2017, D.8.62)

Průvodčí byl navíc trvale dlužníkem svému zaměstnavateli, protože od chvíle převzetí první sady jízdenek fasoval při odevzdání tržby další. Za obnos, který tyto jízdenky představovaly, byl tedy zodpovědný. (Fojtík et al, 2020, J.6.53) Reorganizace dopravy zajistila menší počet

přestupů, což byl krok směrem k zavedení jednoslužného provozu (tedy bez průvodčích). Nejprve probíhal kontrolovaný nástup cestujících prvními dveřmi u řidiče. Řidič tak nově zodpovídal za odbavení cestujících. Do konce roku se však od tohoto systému opustilo a pokladničky nebyly kontrolovány. Od roku 1963 pokladničky vydávaly kontrolní nepřestupní jízdenky a postupně byl tento systém zaveden na všechny linky. Výjimkou byla linka 9, která končila v Motole a probíhala zde změna směru jízdy vlaku. Pokladničku zde musel přesouvat odpovědný zaměstnanec: průvodčí konečné stanice Motol od roku 1972. (Fojtík et al., 2005, 174–221) Městský přepravní řád z roku 1974 nazývá jednoslužný provoz také S-provoz (samoobslužný) a říká, že „některé úkony spojené s placením jízdného (přepravného), popř. s opatřením si jízdenky provést sám, je pokrokový způsob práce v hromadné městské dopravě, který značně zvyšuje společenskou produktivitu práce.“ (Kuchař, 1974, 19)

Jelikož byly první vozy T3 zařazené do pražského provozu zamýšleny jako samostatné vozy a ovládání dveří měl na starosti řidič na svém stanovišti, vznikl při připojení do soupravy vlaků problém. Soupravy vozů T3 musely být obsluhovány dokonce čtyřmi zaměstnanci, řidičem, dvěma průvodčími a jednou pověřenou osobou sedící na stanovišti řidiče v druhém voze, která ovládala dveře a předávání návěsti řidiči. Vozy navíc měly pouze provizorní stanoviště, jelikož se při jejich výrobě počítalo se samoobslužným provozem. Pro ty byly vozy silně kritizovány jak veřejností, tak vlakovými četami. (Fojtík et al., 2010, 197–199)

9. května 1974 v ranních hodinách pak ukončili svou službu poslední průvodčí. Většina zaměstnanců u podniku zůstávala, přeškolili se na řidiče, vozovenské pracovníky, prodejce cenin, či dispečery. Od té doby byl doprovod vlaku vypravován jen při významných událostech a samozřejmě při projíždkách historických vozů. (Fojtík et al., 2020, J.6.38) Od té doby jezdí na vozech běžně již pouze řidič. Veškeré služební úkony tedy přešly na něj. Mimo rutinní řízení vlaku, manipulace, přestavování výhybek v případě nefunkčnosti automatického přestavování, pak i činnosti, které měl na starosti průvodčí. V případě potřeby zajistit výstup cestujících mimo prostoru zastávky, zodpovídá dle § 16 Přepravního řádu za bezpečný výstup cestujících právě řidič. Podle § 3 má řidič právo vyloučit z přepravy osoby, které nějakým způsobem nesplnili stanovené podmínky. Přestože je tedy jeho primárním úkolem řízení vlaku lze obecně říct, že je řidič zodpovědný celkově za bezpečné a plynulé zajištění dopravy cestujících, činnost, se kterou by mu dříve pomáhal právě průvodčí.

Role řidiče tramvaje začala být s příchodem vozů Tatra výrazně komfortnější. Při dlouhých směnách zde zaměstnanci nemrzli jako tomu bylo u dvounápravových tramvají. Řidiči se museli naučit novým manipulacím s vlaky danými jejich jednosměrným charakterem a novým technologickým řešením pohonů. Přes počáteční nedodělky tedy byly vozy kladně přijaty a jsou po úpravách používány dodnes.

S příchodem moderních vlaků současnosti komfort řidičů neustále narůstá, nicméně je celkový provoz od počátku tisíciletí stále intenzivnější a provoz se celkově zrychluje. Řidiči jsou tedy pod velkým tlakem a stresem, jelikož se zpoždění jednoho obratem projeví na zpoždění dalších vlaků za ním. Přesto je řidičům ze strany Dopravního podniku poskytována velká podpora.

3. Praktická část

3.1 Výzkum

Výzkumná část této práce má za cíl dva úkoly: predikovat budoucí vývoj v oblasti tramvajové dopravy a sledovat současný stav v kontextu těchto vyhlídek. Po provedení výzkumu a seznámení s osobními zkušenostmi autora se pak v praktické části představí varianta možného přivedení autonomních tramvají do Prahy a shrnutí dopadů takového kroku na řízení tramvají.

3.2 Kolo budoucnosti

Pro účely predikování budoucího vývoje bylo třeba zvolit prediktivní výzkumnou metodu, která by poskytla relevantní výstupy pro obsah této práce. Byla vybrána metoda Kolo budoucnosti (anglicky Future wheel), která se osvědčila v podobných projektech, například v práci obhájené na Ústavu informačních studií a knihovnictví Terezou Simandlovou.⁸

3.2.1 Teoretický úvod

Kolo budoucnosti je jedna z mnoha metod analýzy variant budoucnosti. Benckendorff rozeznává šest kategorií výzkumných metod: extrapolativní, explorativní, modelovací, scénáře, participativní metody a normativní metody. (Benckendorff, 2007) Kolo budoucnosti jako explorativní metoda s důrazem na strukturování myšlenek na základě kvalitativních vstupů je tedy správnou volbou.

Princip výzkumné metody spočívá v tom, že poskytuje prostor a strukturu pro kolektivní brainstorming, hledání skupinového konsenzu a definování potřeb. Ideální je, aby se výzkumu metodou Kolo budoucnosti účastnilo 8 až 12 hostů. Tato metoda poskytuje zajímavé výstupy, pokud se jí účastní odborníci z několika odlišných relevantních oblastí. Rozhodující je výzkumná otázka, respektive situace, ke které se kolo následně vytvoří.

Výstupem výzkumu je grafický model kola s centrální událostí, na kterou se napojují primární a sekundární dopady této situace, doplněné o poznatky ze souběžně probíhající diskuze relevantních témat a vyobrazených důsledků.

⁸ Diplomová práce Terezy Simandlové z Ústavu informačních studií a knihovnictví na Filozofické fakultě Univerzity Karlovy byla obhájena v roce 2014 s názvem *Otevřená věda – vědecká (r)evoluce*

První fáze

Samotný výzkum se dělí na dvě důležité fáze. První fází je příprava samotného výzkumu. Během ní je třeba zvolit centrální událost. Její volba není triviální, bude totiž základem diskuze a ta se od ní bude vyvíjet. Měla by tedy splňovat dvě následující kritéria: 1. Zaměřuje se na současnou nebo v budoucnu očekávanou událost a 2. Musí být vhodná k objevování v rámci interaktivního setkání malé skupiny odborníků. Dále v přípravné fázi probíhá pozvání odborníků. Výběrem odborníků z několika odlišných oblastí lze získat širší obsahový výstup výzkumu. Tito odborníci se navíc musí setkat v jeden čas na jednom místě, což činí organizaci složitou. Pokud je to vhodné pro následnou diskuzi, lze odborníkům hromadně poskytnout materiály k nastudování před nebo během setkání. Takové materiály pak sjednocují informovanost účastníků o zvoleném tématu. Lze využít například odbornou literaturu na relevantní téma, informativní data k tématu nebo výsledky předchozích prediktivních výzkumů a analýz. Závěrem je třeba zajistit materiální potřeby pro výzkum: tabuli, fixy a hlavně dostatečně velkou a dobře dostupnou místnost pro setkání ve stanoveném datu. (Watkins et al., 2012, 230–231)

Druhá fáze

Druhou fází je pak implementace výzkumu. Tato fáze už probíhá ve stanovené datum a čas s celou skupinou účastníků. Na začátek se doporučuje členy výzkumné skupiny rozehrát, seznámit a rozvést diskuzi na výzkumné téma. Doporučuje se dát všem zúčastněným najevo, že se od každého z nich očekává aktivní zapojení a žádný názor není špatný. Je potřeba všechny účastníky obeznámit s používanou metodou a průběhem samotného výzkumu. Ten má více variant: nápady na důsledky a ovlivněné oblasti lze přidávat do kola tak, jak přicházejí; alternativně lze jednotlivé nápady nejprve prodiskutovat a hromadně rozhodnout o pravděpodobnosti jejich udání a až na základě toho se rozhodnout o jejich zařazení. Pokud se při výzkumu mají použít nějaké externí materiály, nyní je správná chvíle tyto materiály rozdistribuovat, prostudovat a zahájit na jejich základě diskuzi. Diskuze je zároveň prostorem pro vytváření kola budoucnosti. Tvoří se tak, že v centrálním kole je umístěna klíčová událost, kolem které se pak píšou primární důsledky a souvislosti (nebo také efekty prvního řádu). Ty se s centrální událostí spojí pomocí paprsků. Když jsou efekty prvního řádu kompletní, uzavřou se do většího kola, kolem kterého se pak tvoří další důsledky druhého řádu. Volitelně pak lze řády stupňovat, ve třetím řádu lze například rozvrhnout příležitosti, které sekundární vlivy způsobí. Po dokončení kola je prostor pro diskuzi a reflektování nabitých poznatků.

Možností je například analýza zjištěných důsledků a jejich rozdělení na žádoucí a nežádoucí vlivy. (Watkins et al., 2012, 231–232)

3.2.2 Příprava

Prvním krokem fáze přípravy bylo třeba zvolit centrální událost. Na základě očekávaného pokroku ve vývoji technologií autonomní dopravy je jen otázkou času, kdy budou v Praze jezdit autonomní tramvaje. Jejich zavedení je tedy předpokládaným budoucím vývojem současné situace. Zavedení tramvajové dopravy v Praze je dostatečně specifické, ale zároveň ne příliš konkretizované pro diskuzi v rámci odborné skupiny přibližně desítky účastníků.

Výběr odborníků k pozvání probíhal vytipováním několika oblastí, ze kterých by daní účastníci měli přicházet. Ty byly ve spolupráci s konzultantem práce zvoleny takto: výrobce tramvají, provozovatel tramvají, objednatel služby, městský rozvoj, státní instituce, filozofický/etický výzkum. Šest oblastí bylo zvoleno tak, aby v cílovém počtu dvanácti účastníků byl prostor pro oslovení dalších zajímavých odborníků, například na základě doporučení jiných potvrzených účastníků.

Oblast výrobce tramvají zastupovali konzultanti ze Škody Transportation jako partneři této práce. Za provozovatele tramvají tedy v případě Prahy Dopravního podniku byl pozván odborník na implementaci technologií nových vozů. Objednatelem služby, v tomto případě městské dopravy, je magistrát hlavního města Prahy. Tu reprezentoval poradce náměstka pro dopravu. Pro pokrytí oblasti městského rozvoje byl zájem získat účastníka z Institutu plánování a rozvoje hlavního města Prahy, což se nakonec podařilo. Ze státních institucí dorazili dva účastníci: výzkumník z Ministerstva dopravy a vrchní rada z Ministerstva pro místní rozvoj jako odborník na financování významných projektů z evropských peněz. Posledně výzkumnou oblast filozofie a etiky reprezentovali dva výzkumníci, odborník na etiku umělé inteligence a odborník na urbánní sémiotiku. Ti byli osloveni za účelem zvolení data konání setkání a zároveň doporučení zbylých účastníků setkání do naplnění kapacity metodou snowball. V konečné fázi se podařilo naplnit maximální kapacitu 12 účastníků a všichni odborníci přislíbili svou účast ve zvoleném termínu.

Pro sjednocení minimální vstupní znalosti odborníků v tématu autonomní dopravy byly účastníkům poskytnuty měsíc před výzkumem v týdenní periodicitě úvodní materiály.

Pro konání setkání bylo třeba vyhledat poměrně velkou zasedací místnost pro celkem 12 osob. Zasedací místnost navíc poskytovala veškerou potřebnou techniku včetně sociálního zázemí a drobného občerstvení pro účastníky.

3.2.3 Průběh

Rozehřátí účastníků proběhlo formou seznamování účastníků. Každý měl možnost představit sebe, svou práci a jeho vztah k budoucnosti autonomních tramvají. Díky dobrému naladění účastníků se pak diskuze automaticky přesunula k tématu a úkolu, za jehož účelem se všichni potkali. Účastníci se shodli, že při předchozích debatách na téma autonomní tramvajové dopravy se vždy spíše hovořilo o možnostech a překážkách pro autonomní jízdu a provoz. Během kola budoucnosti by se rádi věnovali i dalším často opomíjeným oblastem. Nyní budou představeny primární oblasti, souvislosti a důsledky zavedení autonomní tramvajové dopravy v Praze společně s jejich sekundárními důsledky. U jednotlivých oblastí jsou popsány také nápady a názory účastníků k tématu, které vyvstaly během diskuze. Je třeba upozornit, že se nejedná o pořadí, ve kterém poznatky vznikaly (viz předchozí podkapitola).



Obrázek 10 – Setkání při výzkumu Kolo budoucnosti (foto vlastní, [2020])

Terorizování technologií lidmi

První primární oblastí dopadu zavedení technologie autonomní tramvaje je dle účastníků bezesporu terorizování této technologie obyvateli města. Již dnes se často setkáváme například s vandalismem, znečišťováním vozidel, autonomní tramvaje však poskytují širokou paletu možností, jak terorizovat provoz díky nové technologii. Vše samozřejmě záleží na nastavení stroje, ale účastníci upozornili například na tlačítko žádosti o výstup invalidního vozíku, narušování použití automatického ovládání dveří, či záměrné zpomalování vozidla chůzí před ním. To vše může zdržovat provoz.

Jelikož stroj nemá na rozdíl od člověka intuici, musí být podobné situace řešeny buď pevně daným scénářem anebo rozklíčovány pomocí neuronové sítě (ta vyžaduje prostor pro učení, není v první chvíli perfektní). Autonomní vůz má být maximálně ohleduplný k člověku, ale ti, kteří na něm terorizují, mají být pokutováni, či veřejně „lynčováni“.

Výchova společnosti

To souvisí s další oblastí, výchovou společnosti. Pomocí systému postihů a jasné vizuální a zvukové komunikace stroje k člověku lze zajistit lepší spolupráci cestujících a dopravce. K tomu však bude dle účastníků třeba získání mnoha progresivně smýšlejících zaměstnanců na straně výrobce a dopravce, aby mohly být obdobné technologie implementovány. S tímto tématem ještě souvisí oblast, které se přezdívá teologie robotů. Kupříkladu: roboty policajty nemají lidé rádi, pokud se však jedná o něco přívětivého například robotka vydra záchranářka, obyvatelé ji mají rádi. Relevantní výzkumy na toto téma se již dnes provádí s dětmi.

Změna nálady ve společnosti

Již nyní je zřejmé, že přijetí autonomní tramvajové dopravy nebude pro společnost snadný úkol. Je to proces, který bude trvat několik, možná i desítek let. Účastníci tedy považují poskytnutí prostoru k návyku na autonomní technologie v provozu za klíčové.

Změna národní ekonomiky

Pokud se povede technologie autonomní tramvajové dopravy v Praze zavést v blízké době, dojde k tomu pouze za podpory národní ekonomiky, která se na takto významném projektu bude finančně a legislativně podílet. Je to však významná příležitost, kdy se podchycení potenciálu rozvoje v dopravě může stát exportní technologií. Praha má druhý až třetí největší objem cestujících v tramvajové dopravě na světě, měla by svého know-how využít ve vlastní prospěch.

Zefektivnění dopravy

Pokud k úspěšnému zavedení autonomní tramvajové dopravy opravdu dojde, bude to mít dalekosáhlý vliv na zefektivnění dopravy. Odstraněním náhodné složky řidiče tramvaje lze provoz zpravidelnit. Řidič, který se v provozu zdržuje oproti ostatním, může způsobit zpoždění svého vlaku na trati třeba i 9 minut, což ve špičce na pátešní lince zdrží další dva vlaky za ním. Díky absenci řidiče, je snazší také výměna, či náhrada vlaku při závadách, či mimořádných událostech. Dále není nutné, aby konkrétní vlak jezdil celý den na jedné lince. Dnes by musel řidič na mnoha místech sítě přemýšlet, po které lince jede a kam trasa dál vede. Při jeho absenci tato potřeba zjednodušení odpadá. Dojde tak k efektivní distribuci vozů v rámci celé komplexní sítě tramvají. Tím se zároveň zvýší finanční efektivita, protože celkové množství potřebných vozů poklesne a odpadnou výdaje na mnoho provozních zaměstnanců, na ceně vozů samotných se pak projeví odstranění bezpečnostních prvků vozidla pro ochranu řidiče. Dle účastníků by mělo dojít i k poklesu nehodovosti v zastávkách například tím, že autonomní vozy spolu mohou komunikovat o přecházejících zpoza vozu, což se dnes řidič nemá možnost dozvědět.

Přechodová fáze

Odborníci se shodují na tom, že nutně musí dojít k jisté přechodové fázi v implementaci autonomní tramvajové dopravy. Kritická zde bude kompatibilita autonomních vlaků s neautonomními. Kromě technologického řešení situací je nutno vzít v potaz i možnou nevoli provozních zaměstnanců vůči novým technologiím, které jim na první pohled berou práci. To lze sledovat už dnes při akceptaci technologií (viz kapitola 2.4.3 Elektronická mapa), které někteří řidiči chtěli vypínat, protože jim narušovaly jejich styl jízdy. Dle některých účastníků se v této přechodové fázi projeví postupné mizení prvků komfortu pro řidiče, dojde ke zmenšení prostoru jeho stanoviště. Řidič by měl dozorovat autonomnímu provozu tramvaje a starat se o řešení mimořádných situací, tedy stupeň autonomie GoA 2.

Úprava infrastruktury

Zavedení autonomní tramvajové dopravy se neobejde bez nezbytných úprav infrastruktury. Aby doprava fungovala opravdu efektivněji, nevyhne se úprava zastávkám. Měly by být uzpůsobeny pro snadnější nastupování s informováním o tom, kde vlak určité linky zastaví. Cestující tak budou vědět, že se mají přesunout k prostoru pro druhou stanicující tramvaj. Dlouhodobě dojde k úpravě smyček na menší díky tomu, že již nebude potřeba tolik prostoru pro odpočívající řidiče. Naopak vzniknou odstavné koleje a mikrodepa v širším centru Prahy, aby mohlo dojít k pružnější náhradě vlaků při mimořádných událostech, či posílení vybraných

úseků například ve špičkách (prvky dynamicky řízené hromadné dopravy). Z důvodu památkové péče nelze zajistit vnější dveřní systém podobný tomu u autonomního metra. V metru mají dveře dvě: vlakové a stanicové, které slouží jako dvojí ochrana přivření cestujících. Ochraňování nastupujících tedy bude nutně vypadat jinak než u autonomního metra. Obecně je potřeba mít na paměti, že město se nemůže vždy přizpůsobovat technologii. Naopak, navržené technologie by měly vznikat s přizpůsobením městu samotnému. Napojení tramvajové infrastruktury na další prvky Smart City přitažlivost technologie autonomní tramvajové dopravy ještě zvýší, očekává se budování infrastruktury V2X (vozidlo komunikuje se všemi chytřími prvky v okolí i širším kontextu města).

Národní, evropská a mezisektorová spolupráce

Úspěšná implementace autonomní tramvajové dopravy bude znamenat funkční spolupráci napříč několika sektory. Autonomní tramvajová doprava se sebou nese pouze výzvy technologické, ale i společenské, legislativní a finanční. Při jednáních o zavedení této technologie je třeba být v kontaktu se všemi stakeholdery napříč politickým a sektorovým spektrem. Stát totiž hledá příležitosti pro rozvoj ekonomiky, stejně jako EU. V oblasti vývoje tramvají je Česko dlouhodobě konkurenceschopné. Máme k dispozici hned několik možností podpory, od Evropských fondů přes programy Horizon nebo Shift2Rail. Spolupráce probíhá i v rámci úspěšného projektu C-Roads, pro který jsou relevantní i tramvaje. Účastníci se shodli, že pokud se taková spolupráce podaří a bude pokračovat, jsme schopni přivést stupeň autonomie GoA 2 s antikolizním systémem do Prahy za 5 let. Při další spolupráci a testování pak je plná autonomie reálná nejdříve za 20 let. Pro takový scénář se musí jednotlivé sektory domluvit na synergii zájmů, stanovit jasné a konkrétní cíle, jejichž plnění budou monitorovat a zasazovat se o ně.

Změny v rozložení práce v Dopravním podniku

Postupné mizení profese řidičů je pozitivním i negativním dopadem systémové změny na autonomní provoz. Na poli financí se jedná o významnou úsporu na mzdových nákladech, na druhou stranu tím vzniká skupina pár tisíců nezaměstnaných osob. Jedná se o oblast, kterou lze opět dobře vyřešit pevně danou strategií, která bude korespondovat s výhledem na implementaci technologie. Pokud by autonomní tramvajová doprava měla projít všemi stupni autonomie, budou v první fázi provozu, stupně GoA 2 řidiči i nadále přítomni, postupně se jejich role bude měnit na průvodčí a později budou moci z vlaků zmizet úplně. S ohledem na postupné odcházení řidičů do důchodu toto však nezpůsobuje významný problém.

Navíc bude potřeba zaměstnávat provozní zaměstnance v dalších oblastech jako je energetický, technický a provozní dispečink. Bude zde tedy prostor pro rekvalifikaci bývalých řidičů.

Legislativní změna

Při zavedení autonomní dopravy v provozu tramvají bude muset dojít k významným legislativním změnám. Problematická je zodpovědnost za škody, se kterou se potýká i automobilový průmysl. Pokud je v současné době zodpovědnost ponechána na řidiči, který z vozidla zmizí, musí být zodpovědnost převedena na jinou osobu, či výrobce technologií. Legislativní změna se bude týkat i trestů za terorizování autonomní technologie, která však půjde ruku v ruce i s vývojem dalších příbuzných technologií ve společnosti. Bude muset dojít i k další změně zákonů, na které bude mít přímý vliv postupné mizení osoby řidiče z vozu.

Standardizace a vlastnictví dat

Problematickou oblastí, na kterou bude mít autonomní technologie vliv je vlastnictví dat. Vozidlo v sobě bude mít implementováno mnoho technologií pro snímání okolí, které bude využívat při svém rozhodování. K těmto datům pak bude mít správce vozidla přístup a bude je analyzovat při nehodách a jiných technických problémech. V tu chvíli už je ale množství nasbíraných dat tak velké, že přechází technologie do oblasti Big Data, které se dají zpeněžit a mohou být významným zdrojem financování celé implementace. V této oblasti by tedy mělo dojít ke standardizaci jak ve správě nasbíraných dat (což se týká i automobilů), tak při řešení etických rozhodovacích problémů při řízení. Bez této standardizace nelze technologii vyvinout.

Změna komunikace s cestujícími

Nejen na zastávkách a při stanicování bude docházet ke změnám v komunikaci. Kromě vizuální a zvukové komunikace s nastupujícími a vystupujícími jak běžnými, tak s cestujícími z minoritních skupin jako jsou slepci nebo vozíčkáři, bude vozidlo komunikovat i s ostatními členy provozu. Chodci na přechodech, řidiči v automobilech, těm všem musí být jasné, co se tramvaj chystá udělat. Dnes tuto roli reprezentuje řidič tramvaje a komunikuje pomocí gest. Bude třeba vymyslet alternativy a jasně dané podmínky toho, kdy má například tramvaj využít zvukové návěsti Pozor. Změna se bude jistě týkat i samotných informačních systémů ve vozidle. Tramvaj bude moci lépe komunikovat s cestujícími o přestupních vazbách a informovat je o dění kolem vozidla. Jasně dané podmínky pro vizuální komunikaci s okolím tramvaj chrání proti nechtěné deformaci, například formou rozrážení dveří, či vjetí vlaku do cesty.

3.2.4 Výstup

Výstupem výzkumu je zápis poznatků výzkumné skupiny během konání kola budoucnosti společně s grafickým zobrazením kola níže. Výstupy by měly sloužit jako upozornění na většinu oblastí, na které je potřeba při implementaci technologie dát zřetel. Pro každou z dvanácti primárních oblastí či efektů dopadu zavedení autonomní tramvajové dopravy je třeba oslovit menší skupinu odborníků, kteří jsou schopni výzvy do hloubky zanalyzovat a navrhnout jejich řešení. Například pro oblast legislativní změny nebyl v rámci setkání přítomen právník. Seznam nutných legislativních úprav tedy nemusí být kompletní. To samé se týká všech dvanácti oblastí.

Přesto se výstup obsahový i grafický nadále používá při diskuzích jak u výrobce tramvají, tak ve veřejné správě a všude je považován za přínosný. Měl by být inspirací a částečně i vodítkem pro další studium dopadů a potřeb autonomních technologií.



Obrázek 11 – Kolo budoucnosti – zavedení tramvajové dopravy v Praze. [2020]

3.3 Nezúčastněné pozorování

3.3.1 Motivace

Jelikož během prvního výzkumu formou kola budoucnosti se prokázalo, že nejnáročnější bude řízení autonomního vlaku v centru města, vyvstala potřeba bližšího zkoumání této oblasti. Jelikož se tato diplomová práce věnuje zejména interakci člověk–stroj, ať už ze strany cestujících, obyvatel nebo řidiče, zdálo se přínosné sledovat podobnou interakci v terénu.

Na základě tohoto zadání byl vybrán problém: křížení tramvaje pěší zónou. Pro přiblížení kontextu je žádoucí citovat § 39 zákona o silničním provozu:

- (1) Obytná zóna je zastavěná oblast, jejíž začátek je označen dopravní značkou "Obytná zóna" a konec je označen dopravní značkou "Konec obytné zóny".
- (2) Pěší zóna je oblast, jejíž začátek je označen dopravní značkou "Pěší zóna" a konec je označen dopravní značkou "Konec pěší zóny".
- (3) V obytné a pěší zóně smějí chodci užívat pozemní komunikaci v celé její šířce, přičemž se na ně nevztahuje § 53. Hry dětí na pozemní komunikaci jsou dovoleny jen v obytné zóně.
- (4) Do pěší zóny je povolen vjezd jen vozidlům vyznačeným ve spodní části dopravní značky podle odstavce 2.
- (5) V obytné zóně a pěší zóně smí řidič jet rychlostí nejvýše $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Přitom musí dbát zvýšené ohleduplnosti vůči chodcům, které nesmí ohrozit; v případě nutnosti musí zastavit vozidlo. Stání je dovoleno jen na místech označených jako parkoviště.
- (6) Za účelem organizování dopravy může obec v obecně závazné vyhlášce obce vydané v přenesené působnosti vymezit místní komunikace nebo jejich úseky v obytné zóně, které nelze užít ke stání nákladního vozidla nebo jízdní soupravy.²⁾
- (7) V obytné zóně a pěší zóně musí chodci umožnit vozidlům jízdu. To platí i pro děti hrající si v obytné zóně.

Již ze zákona je zřejmá tenze mezi tím, že vozidla nesmí ohrozit chodce, případně musí zastavit a chodci naopak musí umožnit vozidlům jízdu. Jak to ale vypadá v terénu? Pro sledování pěších zón byly vytipovány 4 relevantní lokality v širším centru Prahy.

Strossmayerovo náměstí je jedna ze tří úplných tramvajových křižovatek v Praze, kde vlaky mohou odbočit do všech směrů. V její blízkosti se nachází také pěší zóna. V jednom směru je pěší zóna z velké části v prostoru tramvajové zastávky, v opačném směru tramvaj nejprve jede přes velké kolejové křížení, kde na sebe díky hluku z přejezdu přes toto křížení dobře upozorní. V tomto místě tedy většinou k tenzi nedochází.

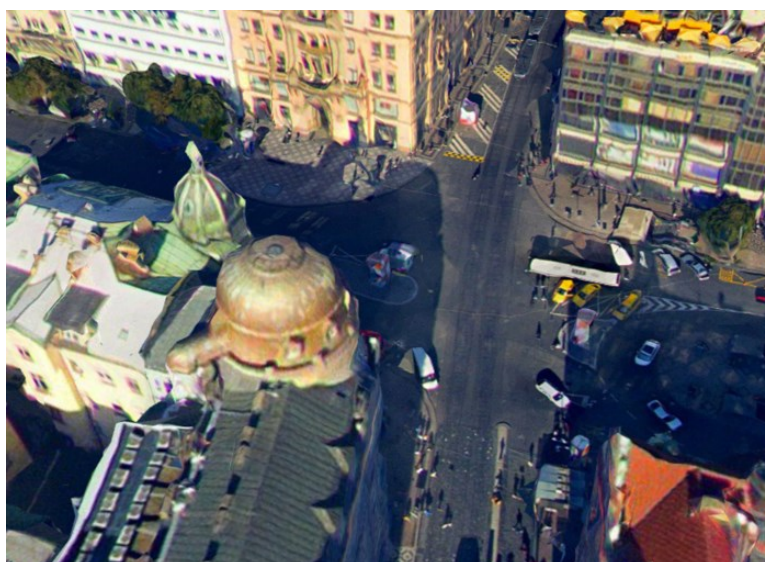
Anděl sice není úplnou křižovatkou, jeden směr odbočení chybí, přesto se jedná o významné místo v rámci pražské kolejové sítě. Ve standardním provozu se zde setkává ve špičce celkem 9 tramvajových linek a díky blízkému nákupnímu centru, přestupu na metru, či autobusovému nádraží se zde pohybuje velké množství chodců. V některých případech zde na sebe řidiči tramvaje upozorní zvonkem, dáváním návěsti pozor pro zajištění plynulosti dopravy a zároveň pro bezpečnost chodců. Pro svou komplexnost nebyla tato křižovatka zvolena jako vhodná pro sledování jedním pozorovatelem.

Náměstí Republiky je významná dopravní lokalita, kde tramvaje jezdí již od prvopočátků tramvajového provozu viz kapitola 2.1 Historický vývoj tramvajové dopravy v Praze. V dnešní době je zde provoz menší než v minulosti. Již zde nenajdeme výhybky, tramvaje projíždí obloukem od zastávky Náměstí Republiky směrem k ulici Revoluční více méně bez potíží omezenou rychlostí dle pokynů paragrafu výše, a i přes blízkost obchodního centra jsou zde chodci většinou pozorní a umožní tramvajovým bezproblémový průjezd.

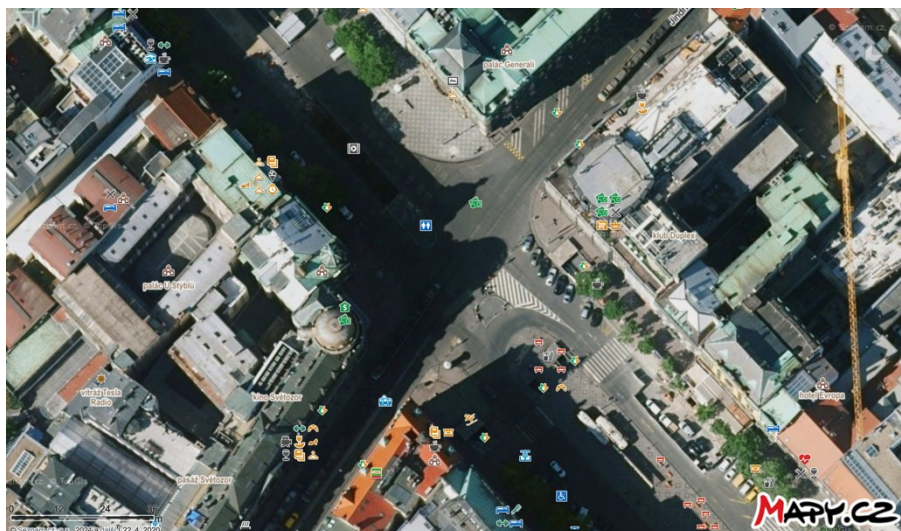
Václavské náměstí bylo, je a bude významnou dopravní tepnou jak pro tramvaje, tak linky metra. Velké množství chodců, cyklistů a automobilů dělá z tohoto na první pohled triviálního křížení náměstí tramvajovou tratí problematické místo. Proto bylo zvoleno pro účely sledování.



Obrázek 12 – Mapa situace křížení na Václavském náměstí (zdroj: Mapy.cz [2021])



Obrázek 13 – Letecký snímek křížení na Václavském náměstí (zdroj: Mapy.cz [2021])



Obrázek 14 – Satelitní snímek křížení na Václavském náměstí (zdroj: Mapy.cz [2021])

3.3.2 Příprava a průběh

Zaměření výzkumu bylo jasné: interakce tramvaje a chodců v pěší zóně. Otázkou zůstávalo, co v pěší zóně sledovat. Vezmeme-li v potaz, že během výzkumu stále trvala pandemická opatření a lidí bylo v centru města méně než za běžné situace, tenze mezi tramvajemi a chodci byla menší. Přesto se hlavně ve špičkách pracovních dnů pohybovali v okolí kolejiště cyklisté, automobily a chodci. Po první pozorovací návštěvě v terénu bylo jasné, že nejzajímavější pro tuto práci bude sledovat chování chodců při průjezdu tramvaje. Tramvaj se pěší zónou běžně pohybuje konstantní rychlostí asi 20 km/h. V této rychlosti je navíc většina tramvají velmi tichá a chodci musí opravdu věnovat pozornost dění kolem sebe, aby si tramvaje všimli a včas reagovali. Výzkumnou otázkou tedy bylo, kolik chodců je omezeno průjezdem tramvaje, kolik chodců reaguje čekáním a kolik naopak zrychlením pohybu přes koleje a za třetí ke kolika nebezpečným situacím během sledování dojde.

Sledování proběhlo ve třech samostatných návštěvách náměstí, dvakrát během ranní špičky, jednou přes oběd, kdy se na základě pozorování pohybovalo po náměstí také mnoho chodců. Sledování probíhalo z terasy knihkupectví Academia, odkud je dobrý výhled na kolejové křížení Václavského náměstí. Při všech třech iteracích byla pozornost věnována oblasti na straně náměstí směrem k ulici Jindřišská, která je jak pro chodce, tak pro řidiče tramvaje méně přehledná svou polohou v oblouku a s větším pohybem automobilů v blízkosti místa přecházení chodců přes koleje.

3.3.3 Výstupy a diskuze

Tabulka 1 – Výsledky sledování na Václavském náměstí

Datum	Čas	Počet tramvají	Počet čekajících	Počet přebíhajících	Počet nebezpečí	Doba sl.
10. 5. 21	Ráno	24	49	7	1	20 min
26. 5. 21	Ráno	20	58	9	0	15 min
31. 5. 21	Poledne	26	94	8	3	20 min

V tabulce číslo 1 jsou uvedeny výsledky sledování. Během každého sledování projelo vybraným úsekem alespoň dvacet tramvají v obou směrech. Při jednom sledování muselo téměř 100 chodců počkat, než se úsek k přecházení uvolní. Ve srovnání s ostatními měřenými údaji jsou výsledky počtu čekajících překvapivě vysoké. To si lze vyložit tak, že chodci buď nevědí, že mají v úseku pěší zóny přednost nebo mají z tramvají tak velký strach, že raději počkají, než tramvaj přejede. Problémem jsou ale turisté, kteří nevědí, jaká legislativní úprava v naší zemi panuje a jak se k tramvajím chovat. V době sledování však v Praze bylo výrazně méně turistů.

Výstupy tohoto sledování jsou o to významnější, že se předpokládá, že autonomní tramvaje se budou v centru Prahy pohybovat podobně jako tramvaj v pěší zóně: omezenou, konstantní rychlostí. Přesto nelze zanedbat celkem čtyři případy toho, že tramvaj musela použít zvonek, či omezit svou jízdu, aby nedošlo ke střetu s člověkem. Na tyto případy bude muset být autonomní tramvaj připravena. Vysoké množství čekajících chodců je zároveň důkazem toho, že obyvatelstvo dává tramvajím přirozeně přednost a skákání pod kola tramvaje není významnou překážkou autonomní tramvaje.

3.4 Zkušenosti z praxe

V této kapitole bude autor zmiňovat některé své subjektivní zkušenosti z dvouleté praxe řidiče tramvaje v Praze v kontextu možného zavedení autonomní tramvajové dopravy v Praze. Tím, že se jedná o subjektivní zkušenosti, nemusí obsahovat všechny nástrahy a překážky, které by bylo možné získat při zapojení většího množství řidičů do podobné diskuze. Zároveň je třeba zmínit, že některé zkušenosti mohou být zkreslené na základě neprůhlednosti pozadí fungování Dopravního podniku a vedení města z role řidiče.

3.4.1 Technologické překážky

Technologické překážky potenciálního autonomního provozu jsou funkční nedostatky současného tramvajového systému z pohledu řidiče. V mnoha případech to nejsou skutečnosti, na které má přímý vliv Dopravní podnik. O spoustě z nich rozhoduje nadřazený orgán, rada Magistrátu hl. m. Prahy, případně se jedná o nedostatky technologií, které by však měly být do chvíle zavedení autonomní tramvajové dopravy eliminovány.

Závadové stavy výhybek

Až příliš často se stává, že výhybky, po kterých pražské tramvaje jezdí, nejsou bezpečně přestaveny do požadovaného směru nebo je z nějakého důvodu nelze přestavit. Ve většině případů dochází k těmto situacím za špatného počasí. Výhybka je otevřené místo kolejového svršku, které má v některých případech vlastní odvodňovací systém. Je zde tedy snaha o to, aby byly výhybky čisté a nezadržovaly vodu. Nicméně voda sebou přináší i spoustu dalších nečistot, které se ve výhybkách usazují a zabraňují jejich bezpečnému přestavení do požadovaného směru. V takovém případě řidič do výhybky nesmí vjet, musí výhybku vyčistit a ručně přestavit do požadovaného směru. To je samozřejmě překážka v autonomní dopravě. Pokud nemá být vozidlo doprovázeno, musí se eliminovat situace, kdy je výhybka nesjízdná. Pokrok v technologiích výhybek je tedy nespornou podmínkou.

Délka zastávek

V Praze se rekonstruují zastávky v centru Prahy a opět se i stavějí nové úseky na periferiích. To je velký pokrok, ve kterém by se mělo pokračovat. Problém je však v kapacitě, respektive délce zastávek. Není výjimkou, že se nyní v širším centru města budují krátké zastávky, kde se nevejdou dvě soupravy, případně dvě článkové tramvaje Škoda. Příkladem je rekonstruovaný úsek trati na Pankráci, konkrétně zastávka Pražského povstání. Zastávky jsou budovány dle manuálu IPR na délku 55 m, to jest pro jednu soupravu (dlouhý vlak) a jeden kloubový autobus. Kapacitnější 67 m zastávky se dnes omezují. Důvodem totiž je, že kratší zastávky jsou „výhodnější z hlediska kratší pěší dostupnosti k vozidlům veřejné dopravy.“ (IPR, 2014, 94)

S kratšími zastávkami je pak problém i v úplném centru města. Například u ulic Lazarská a Vodičkova je kapacita zastávek nedostatečná. Zastávky Lazarská a Vodičkova jsou přes den obsluhovány celkem šesti pravidelnými linkami, a tak je fluktuace cestujících v rámci každého jednoho vlaku nízká. Průjezd tímto úsekem by se s větší kapacitou zastávek Lazarská a Vodičkova dal zvýšit přibližně o minutu čistého času. Navíc kratší délka zastávek na jednu

soupravu limituje délku pořízených nových tramvají do Prahy v době, kdy současná kapacita vlaků již nedostačuje. V noční dopravě nelze posílit jednovozové noční tramvaje na soupravy a v denním provozu je zase krátká zastávka v tomto úseku zdrojem zpoždování vlaků.

Nedostatek tratí v centru

S předchozím bodem se pojí i nedostatečné množství tratí v centru Prahy. Praha je závislá na provozu v ulicích Lazarská–Vodičkova–Jindřišská a Karlovo náměstí–Ječná–Jugoslávská až příliš. Jak již bylo odkazováno v kapitole 2.1 Historický vývoj tramvajové dopravy v Praze jedná se o odkaz budovatelů v 60. a 70. letech. Dokud nebudou v centru Prahy opět zprovozněny paralelní tramvajové tratě, bude Praha obětí i menších překážek ve jmenovaných ulicích jako celek. Mnoho linek těmito centrálními ulicemi projíždí a následky i krátkodobého omezení dopravy v centru jsou pocíťovány po celé Praze ještě několik hodin po ukončení.

V současné době je však významná šance, že se situace postupně zlepší. V dohledné době⁹ by měla být opět zprovozněna trať v horní polovině Václavského náměstí a následně snad i trať v okolí Hlavního nádraží. Pokud se provoz v těchto úsecích osvědčí, můžeme doufat, že se tratě vrátí i do dalších ulic v centru Prahy, například na pěší zónu ulicemi Národní–28. října–Na Příkopěch–náměstí Republiky, kde by paralelně asistovala již zmiňované přetížené Vodičkově a Jindřišské.

Chybějící odstavné koleje a mikrodepa

Pro zachování dopravy v případě výše zmiňovaných nehodách by Praha upotřebila odstavné koleje pro jednu či dvě pohotovostní soupravy tramvaje. Odklonové trasy jsou dlouhé a zpoždění narůstají obratem do řádu několika desítek minut. Jak je uvedeno v kapitole o historii tramvajové dopravy, takové koleje navíc mohou posloužit při odbavování cestujících v případě hromadného opuštění kulturní události jako je například divadelní představení, či sportovní nebo jiná kulturní událost.

Pro odstavení porouchaného vlaku za účelem jeho menší údržby by také v klíčových lokalitách posloužily mikrodepa. V rámci setkání Kola budoucnosti zaznělo, že o takových variantách Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy uvažuje a pracuje na relevantní studii.

⁹ Praha v poslední době zveřejnila odhad realizace do roku 2024. („Praha chystá nové tramvajové linky, vzniknout má více než dvacítko tratí“, iDNES.cz, 2021)

Využití obou možností po zavedení autonomní tramvajové dopravy je jistě zřejmé. Pokud může vlak bez lidského článku obratem vyjet, eliminují se zpoždění z několika desítek na pouze pár minut. Takovou dynamiku dnes v Praze není Dopravní podnik schopen zajistit.

3.4.2 Prostor pro zlepšení

Poptávková doprava

V meziválečném období bylo běžnou praxí, že denní vypravení vlaků bylo pevně dáno a následně posíleno dle aktuálních požadavků. Byly vypravovány takzvané vsunuté vlaky, případně bylo možné připojit k vlaku další vlečný vůz. Ve večerních hodinách se pak vlečné vozy odpojovaly a ponechávaly na odstavných kolejích v blízkosti vozoven nebo na konečných stanicích. Vlečné vozy se také ponechávaly na kraji centra města při snížení poptávky s tím, že byl vlečný vůz připojen k následujícímu vlaku jedoucímu v opačném směru do centra. Toto připojení zajišťoval průvodčí, jehož směna byla nezávislá od směn řidičů tramvají. (Fojtík et al., 2017, J.6.31–32) V současném trendu doplňování vozového parku novými vozy nám taková možnost chybí, jelikož jsou nové vlaky dlouhé a článkové bez možnosti oddělení článků na kratší celky.

V kapitole o historii byly zmíněny také divadelní tramvaje. Není výjimkou, že kapacita některých divadel se blíží hranici tisíc diváků¹⁰ a tito lidé se po konci představení musí dostat do svého bydliště, či na autobusové nebo vlakové nádraží, pokud pokračují za hranice Prahy. Tramvaje pak bývají přeplněné a diváci se v houfech snaží dostat alespoň pěšky k blízkým stanicím metra.

Stadion v Edenu má kapacitu přes 20 tisíc návštěvníků¹¹ stejně jako O2 arena¹². Dostat se z těchto sportovních a zábavních center bývá velmi nepříjemné, i když se stává, že si pořadatelé objednají posílení, například tramvajové dopravy. Praha není na podobné akce připravená ani kapacitně z hlediska vlaků, ani kapacitou tratí, tak aby v případě možného posílení nezkolabovalo centrum Prahy. O plánech na rozvoj sítí se zmiňovala předchozí podkapitola, je tedy možné, že se tento jev bude postupně zlepšovat.

¹⁰ Hlavní budova Národního divadla v Praze má kapacitu 965 diváků (Národní divadlo, [2021])

¹¹ Kapacita Sinobo Stadium (Prague.eu, [2021])

¹² Kapacita O2 areny (Prague.eu, [2021])

Poptávková doprava 2.0

Díky rozvoji technologií je však do budoucna reálné řídit dopravu dle poptávky menších skupin cestujících. Pokud se koná kulturní událost, ať je to divadelní představení nebo koncert světové hvězdy, tak jde o dlouho plánovanou akci, na níž se lze připravit při plánování směn řidičů tramvají a vypravit potřebné vlaky pro pokrytí.

S rozvojem MaaS (zkratka pro Mobility as a service, překlad „Mobilita jako služba“) lze předpokládat rozvoj intermodální dopravy i v Praze. Již roky zde působí služby sdílených kol jako jsou Rekola, nově například Nextbike, který jedná o zapojení do systému integrované dopravy.¹³ K odemykání kol by pak měla stačit aplikace Lítačka namísto dalších aplikací třetích stran. Pokud k tomu opravdu dojde, stane se z Lítačky všestranný nástroj pro plánování dopravy v Praze. Z toho můžou městské instituce těžit a na základě požadavků cestujících na dopravu z místa A do bodu B pružně reagovat.

Jedná se samozřejmě o vizi, ale je reálné, že by si cestující plánovali dopravu ve svých mobilních telefonech a na základě toho se dynamicky upravovala kapacitní nabídka na určitých trasách a vybraných úsecích. Stejně jako odpojovali průvodčí na přelomu 19. a 20. století vlečné vozy od motorového vozu na okraji centra Prahy, mohly by tramvaje v centru Prahy poskytovat adekvátní kapacitu tam, kde je to opravdu potřeba. Tento příklad je důležitý hlavně z pohledu toho, že mohou data o uživateli mobilní aplikace poskytnout informace, které nebylo doteď možné dopředu zjistit. Dopravní plánovači v 19. století měli práci o dost těžší. Mohlo se stát, že nechali vlečný vůz odpojit, a na další zastávce nastupovala do tramvaje celá třída dětí, která se pak do motorového vozu nemusela vejít. Díky technologiím, které přicházejí už dnes to budou mít plánovači dopravy výrazně snazší.

3.4.3 Přípravenost

Tato podkapitola stručně shrne oblasti, ve kterých je pražská tramvajová doprava napřed a díky kterým by mohla být implementace autonomní tramvajové dopravy o něco jednodušší.

Elektronická mapa

V kapitole 2.4 Pokročilé technologické prvky u současných pražských tramvají byla zmíněna technologie Elektronická mapa, která poskytuje informace o tramvajové síti na základě ujeté vzdálenosti. Samotná existence databáze je prvním krokem ve vývoji autonomní tramvajové

¹³ Pražská MHD se má rozrůst o sdílená kola. Pro jejich odemknutí postačí Lítačka. (Jarešovský, [2021])

dopravy, který by se musel dříve nebo později vykonat. Navíc je databáze již několik let denně prověřována, nabízí kromě úseků s omezenou rychlostí i další informace jako místa pro vyhlášení zastávek nebo mazání kolejového svršku. Umí také reagovat na aktuální čas tedy upravuje omezenou rychlost pro noční provoz tramvají apod. Nejen databáze samotná ale i funkční síť kalibračních bodů nainstalovaných v rámci kolejové sítě je významným úspěchem pražských tramvají na cestě do budoucnosti a Praha z ní bude ještě mnoho let těžit.

Simulátor

Některá česká města ho již představila, u Prahy se jedná o projekt nesrovnatelné velikosti. Funkční simulátor tramvajové dopravy, který snad brzy v Praze vznikne bude ve spojení s elektronickou mapou skvělým zdrojem pro testování autonomního řízení. Před tím, než autonomní tramvaj vyjede do reálných ulic, bude se moci učit v rámci testování v programu. Díky simulátoru bude možné sledovat, zda počítač řídí stejně dobře nebo lépe než člověk a jak reaguje na simulované situace obdobné dění v terénu. Pokud pak dojde k implementaci technologie na reálnou tramvaj, bude testování již bezpečnější s jasnými cíli pro úspěšnost dle předchozího testování v simulovaném prostředí.

3.5 Cesta k autonomní tramvaji

Na základě všech předešlých indicií tato kapitola shrnuje poznatky o možném zavedení autonomní tramvajové dopravy v Praze. Vedoucí takového projektu v rámci dopravního podniku, města, či výrobce tramvají zde může najít inspiraci pro vedení projektu k úspěchu.

3.5.1 Nultá fáze

V přípravné fázi projektu bude zásadními navázání spolupráce s klíčovými partnery. O tom, která odvětví jsou pro vývoj projektu zásadní se zmíní následující podkapitola. Dle odhadů odborníků není autonomní povrchová kolejová doprava technologií současnosti. S jejím postupným nástupem se počítá od roku 2040.¹⁴ Na takovou budoucnost je ale potřeba se chystat již nyní. Bude tedy potřeba rozplánovat projekt implementace na horizont 25 let. Takový plán vznikne v rámci konzultací se všemi partnery a bude stvrzen podepsáním memoranda.

¹⁴ Government Office of Science, UK, *A time of unprecedented change in the transport system*, 2019, 111

3.5.2 Spolupráce několika odvětví

Autonomní tramvajová doprava je bezesporu komplexní projekt, který se dotkne v podstatě celého systému dopravy v Praze, a to nejen té kolejové. Jednání budou probíhat s výrobcí tramvají, dodavateli technologií, elektroniky, napájecí soustavy, dodavatelem kolejových řešení a dalšími komerčními celky. Dále bude projekt potřeba vést pod záštitou města, které zde zastupuje funkci rozhodovací a nabízí možnost kontaktů na spolupracující sektory a na správní celky vyšších instancí, ať už je to Ministerstvo průmyslu a obchodu jako partner z pohledu rozvoje ekonomiky a potenciální zdroj dotací takového projektu, či Ministerstvo dopravy, které má v gesci legislativu, kterou bude pro provoz autonomních tramvají potřeba upravit a podporuje testování nových technologií v dopravě, například v projektu C-Roads. V kontextu dotací je potřeba ještě zmínit další možnost financování takto významného projektu a tou je program Horizon. Požadavkem projektu Horizon je mezinárodní přesah, který ale projekt autonomní tramvajové dopravy v rozsahu, jakou má Praha, rozhodně má. Jelikož se v projektu počítá se spoluprací s univerzitami a dalšími výzkumnými centry, nebude mezinárodní charakter projektu překážkou, nýbrž příležitostí.

Zásadní otázkou projektu je pak jeho záštita. Dle zkušeností ze zahraničí viz kapitola 2.3 Autonomní technologie pro tramvaje to vypadá, že by projekt měl vést výrobce tramvají. Je to přirozené, protože tramvaj na sobě poveze mnoho technologií, které autonomii umožní. Otázkou je, zda se k tak velkému autonomnímu projektu, jako je Praha, nějaký výrobce troufne. Je možné, že pro úspěch projektu v takovém měřítku bude potřeba, aby si na sebe vedení vzala veřejná instituce, či akciová společnost města. Pokud bude Dopravní podnik chtít, aby záštitu převzal jiný subjekt, v Praze se vhodné instituce nacházejí. Například Operátor ICT je společnost, která má s vedením digitálních projektů v kontextu Prahy zkušenosti. Vedoucí subjekt pod záštitou hlavního města Prahy by navíc měl být schopen navázat výše zmíněné spolupráce. Nicméně by potřeboval významnou podporu ze strany výrobce a dopravního podniku, aby takto velký dopravní projekt zvládl.

3.5.3 Příprava společnosti

Pro úspěšnost projektu autonomní tramvajové dopravy s ní bude třeba veřejnost včas seznámit. Na změny v dopravě jsou obyvatelé města velmi citliví, změny linkového vedení se často neobejdou bez emocí a odstranění osoby řidiče bude třeba zapracovat postupně. Veřejnost však může být aktivním účastníkem celého implementačního procesu. V rámci příprav bude muset probíhat i výzkum toho, jak lidé dnes reagují na tramvaj, na co se dívají, když se rozhodují,

zda přejít nebo čekat, jak komunikují s řidičem, která gesta při tom používají a jak tyto gesta srozumitelně nahradit strojem. To jsou jen některé otázky, které bude potřeba postupem času ve výzkumech odpovědět.

Prvním krokem by mělo být seznámení veřejnosti s technologiemi, které již dnes tramvaje mají a tím, jak s nimi mohou lépe pracovat. Názornou ukázkou špatné přípravy společnosti může být zavedení automatického zavírání dveří přes optickou závoru. Cestující s touto funkcí nikdo formálně neseznámil. Dveře se zavírají jednotlivě, postupně, a tak se mnohokrát stává, že cestující začnou u zavírajících dveří zmatkovat. Nezřídka chodí do Dopravního podniku stížnosti, že jim řidič úmyslně zavřel. Bohužel není jasně odlišena výstraha, během které může cestující otevřít zavírající se dveře tlačítkem a zavírání, které je natvrdo provedené řidičem. Je třeba, aby se s dalšími kroky implementace nových technologií informovanost zlepšila. Cestující si tak postupně zvyknou na automatizaci a postupné mizení osoby vpředu vlaku pro ně bude snazší.

3.5.4 Varianta řešení projektu

Tato podkapitola představuje hrubý náčrt varianty toho, jak by mohla být technologie do Prahy postupně implementována. Nejprve je zde načrtnutý seznam ovládacích funkcí tramvaje s vyznačením toho, kdo funkci v daném stupni autonomie řídí. Dále pak rozfázování projektu.

Funkce	GoA 1		GoA 2		GoA 3		GoA 4	
	běžný	nouzový	běžný	nouzový	běžný	nouzový	běžný	nouzový
Jízda	A	A	S	A	S	A	S	D
Brzda	A	A	S	A	S	A	S	D
Zvonec	A	A	A	A	S	A	S	D
Ovládání dveří	A	A	A	A	A	A	S	D
Hlášení zastávek	A	A	S	A	S	A	S	D
Osvětlení vnitřní	A	A	S	A	S	A	S	D
Osvětlení vnější	A	A	S	A	S	A	S	D
Ovládání sběrače	A	A	A	A	S	A	S	D
Směr jízdy	A	A	A	A	D	A	D	D
Nouzové režimy	x	A	x	A	x	A	x	D
Dálková světla (houkačka)	A	A	A	A	S	N	S	D
Směrovky	A	A	S	A	S	A	S	D
Stěrač	A	A	A	A	S	A	x	x
Ovládání výhybek	A	A	S	A	S	D	S	D
Aktivace stanoviště (start tramvaje)	A	A	A	A	D	A	D	D
Bypassy (dveře, plošina, omezovače)	x	A	x	A	x	A	x	D
Výstražná světla	A	A	A	A	S	A	S	D
Sluneční clony	A	A	A	A	x	x	x	x
Kolejnicové brzdy	A	A	S	A	S	N	S	D
Záchranná brzda	A	A	A	A	A	A	S	D
Ovládání HVAC	A	A	S	A	S	A	S	D
Ovládání CCTV	A	A	A	A	A	A	D	D

A používá osoba ve voze
N nepoužívá osoba ve voze
D ovládá se dálkově (z dispečinku)
x nerelevantní
S ovládá stroj

Obrázek 15 – Ovládací funkce tramvaje ve stupních autonomie (Kryštof Petrásek, [2020])

Příprava projektu 2021–2025

V první fázi dojde k hlubší analýze potřeb, výčtu všech z dnešního pohledu nutných oblastí, ve kterých se implementace autonomie v tramvajové dopravě dotkne. Zastřešující subjekt (pro zjednodušení zde bude uveden dále Dopravní podnik) bude konzultovat s partnerskými institucemi svůj záměr a hledat konsensus ve výhledu možné implementace přidružených technologií.

Vznikne plán na následujících 25 let s cílem přivést plnou autonomní tramvajovou dopravu v roce 2050. Pokud bude v této době Dopravní podnik chystat nákup nových tramvajových vlaků, měl by vzít v potaz, že tyto vlaky zde budou v době autonomie stále jezdit. Měly by tak být vybaveny již většinou potřebných technologií pro autonomní provoz, i když zatím bude v pozadí výkonu řidiče tramvaje. Tramvaj by měla z dlouhodobé perspektivy zajistit nejprve provoz ve stupni GoA 2 a následně po drobných úpravách i provoz GoA 3.

Po sestavení plánu se s nejdůležitějšími partnery projektu podepíše memorandum o spolupráci a bude možné podat společnou žádost o podporu na národní, či dokonce evropské úrovni.

2025–2030

Do Prahy v tomto období přicestují první tramvaje, které budou umožňovat nižší stupně autonomního řízení. Nejprve budou vlaky fungovat v režimu GoA 1, tramvaj bude schopna sledovat dění kolem tramvaje a zasahovat do řízení v případě nouze, to jest antikolizní systém. Souběžně s tím bude tramvaj zaznamenávat odchylky řidičského výkonu řidiče od zamýšlené akce ze strany autonomní tramvaje. Bude tak možnost srovnání toho, kdo řídí bezpečněji a plynuleji. Pokud se prokáže, že ani po několika letech testování není tramvaj schopna řídit lépe než člověk, není důvod technologii posouvat na vyšší stupně autonomie a současný stupeň GoA 1 tedy řízení s antikolizním systémem bude považováno za úspěch. Obdobnou technologii může být dovybavena i současná flotila tramvají s nadřazeným řízením.

2030–2035

Pokud se efektivita řízení vlaku strojem prokáže jako vysoká, bude třeba implementovat změny do infrastruktury a investovat do přidružených technologií s cílem posunout stupeň autonomie na GoA 2. Tramvaje pořízené v předcházejícím období jsou od výroby schopny vykonávat samostatně řízení v tomto stupni autonomie a během několikaletého pilotního provozu se měly možnost naučit a vyhodnotit řízení v rozličných situacích a provozních podmínkách (provozní špička, špatné počasí, prázdné město a mnoho dalších). Probíhá testování řízení v tomto režimu

s cestujícími na v posledních letech vybudované trati již s potřebnými technologiemi (například Kobylisy–Zdiby) s cestujícími.

2035–2040

Po dokončení úprav infrastruktury v rámci celé kolejové sítě a úspěšném otestování ve vybraném tramvajovém úseku mohou vyjet první tramvaje ve stupni automatizaci GoA 2 v celé síti. V této chvíli již vlak převzal řízení od řidiče, ten je však stále přítomen ve vlaku a je schopen zasahovat v případě závady, či mimořádné události. Nicméně je potřeba zajistit spolupráci mezi autonomními a neautonomními vlaky, v prvopočátku tedy formou dodatečných povelů k umožnění jízdy přísedícím řidičem. Souběžně probíhá obnovení vozového parku tak, aby byla kapacita naplněna vlaky umožňujícími autonomní provoz.

2040–2045

Zatímco si veřejnost zvyká na to, že tramvaje řídí sami a řidič celému řízení pouze dozoruje, dochází k minimalizaci vlaků, které v režimu GoA 2 nejezdí. S rozvojem digitálních technologií a dobudováním tratí na potřebnou kapacitu v centru města se postupně otevírá prostor pro poptávkovou dopravu a tramvaje tak nahrazují významně omezenou automobilovou dopravu v centru města. Vzniká zadávací dokumentace pro vozy stupně autonomie GoA 4, které již neobsahují klasické stanoviště řidiče a umožňují spojování do delších celků, modulární řešení pro provoz dle aktuálně potřebné kapacity. Vlaky stupně GoA 2 se začnou upravovat pro provoz GoA 3.

2045–2050

V této poslední etapě začnou jezdit vlaky v režimu GoA 3, kdy je na palubě přítomen stevard. Ten je schopný vykonávat stejnou činnost jako řidič, ale nemusí již sedět vpředu ve vozidle, nýbrž se stará o komfort cestujících a jejich informování. Pokud se automatické technologie neprokáží jako dostačující, může mít nadále na starosti zavírání dveří a samozřejmě je schopný vlak odřídít v případě mimořádné události. Veřejnost si zvyká na to, že vpředu vozidla již nesedí řidič a tento exkluzivní prostor vpředu na vozidle je jim nyní otevřen. Hromadnou úpravou režimu vlaků na stupeň GoA 3 již nebude třeba řešit spolupráci mezi vlaky v různých stupních autonomie. Vlaky spolu komunikují na dálku bez zásahu člověka.

2050

V roce 2050 vyjedou první vlaky GoA 4, které nebudou mít na palubě žádnou obsluhu. Ta bude probíhat automaticky případně na dálku z dispečinku. Tyto vlaky se budou nejprve využívat

jako vložené pro posílení dopravy v centrálních úsecích a postupně s jejich nárůstem začnou klasické dlouhé vlaky nahrazovat, pokud se modulární systém osvědčí. Mimo hlavní provozní dobu navíc modulární vlaky mohou po drobných úpravách sloužit k dalším funkcím mimo rutinní převoz osob jako je převoz zboží, balíků a materiálu. Díky své modulárnosti se dají přizpůsobit konkrétním požadavkům potenciálních nájemců samozřejmě v rozumné míře dle kapacity provozu. Díky postupnému přechodu na plně autonomní tramvaj byli provozní zaměstnanci přesunuti v rámci svého zařazení obdobně jako tomu bylo při ukončení činnosti průvodčích v sedmdesátých letech.



Obrázek 16 – Koncept segmentové autonomní tramvaje od Škody Transportation
(Autor: Škoda Transportation, Zdroj: Instagramový profil společnosti, [2020])

3.6 Dopady na roli řidiče

V této kapitole jsou představeny aktivity, které řidič při řízení provádí, a které bude muset autonomní technologie převzít. Následně kapitola shrne to, jakými změnami role řidiče projde v reakci na předcházející kapitolu s návrhem na zavedení autonomního tramvajového provozu v Praze.

3.6.1 Řízení tramvaje dnes

Činnost řidiče při řízení lze rozdělit na čtyři etapy, které se opakují na každé zastávce a při úseku mezi zastávkami. Je třeba zmínit, že mimo tyto aktivity řidič dále zodpovídá za bezpečí cestujících tedy závadové stavy tramvaje, které by mohly ohrozit jejich bezpečí, či průběžně o dění ve vozidle, pokud to daný typ umožňuje (zpětné zrcátko do salonu/kamerový systém).

Rozjezd

Řidič kontroluje situaci před čelem vlaku a to opticky, ideálně i čelní kamerou, která zabírá prostor přímo před čelem tramvaje (zaznamená dítě, či domácí zvíře, které není ze stanoviště řidiče vidět). Dále řidič kontroluje prostor kolem dveří, zda v nich nebylo nic přivřeno a zda se cestující zdržují dostatečně daleko od tramvaje. Má přehled o širší provozní situaci kolem vozidla a pokud mu to dovoluje, zadává ručním řadičem či pedálem pokyn k plynulému rozjezdu tramvaje.

Jízda

Během jízdy musí udržovat neustálý rozhled před a podél tramvaje. Sleduje návěstidla a návěsti, které by mu upravovaly předepsané pokyny k jízdě. Pokud to uzná za vhodné, využívá omezovačů rychlosti na displeji nadřazeného řízení. Při přejezdu přes úsekový dělič troleje vypíná při brzdění rekuperaci, případně vyřazuje řadič z jízdy tak, aby neničil trolejové vedení a sběrač. Při změně směru či přejezdu přes silnici dává signál ostatním účastníkům dopravy směrovými světly a v případě nejisté situace, kdy není z chování ostatních účastníků zřejmé, že o tramvaji stoprocentně vědí, dává návěst Pozor zvoncem tramvaje. Při jízdě je také zodpovědný za ovládání výhybek. Díky technologii rádiového ovládání výhybek řídí přestavování výhybek palubní počítač na základě předem definované trasy a správného vyhlásování zastávek. Přes to musí řidič hlídat, zda je na palubním počítači správně navolený směr na následující výhybce. Pokud se v úseku mezi zastávkami nachází více křižovatek s výhybkou, kontroluje, zda došlo k načtení takzvaného mezičidla, které dává signál o potřebě změnit povel směru přestavení výhybky pro tu následující. Při příjezdu k výhybce kontroluje, zda prostor výhybky již opustil předcházející vlak a zda došlo k odblokování výhybky pro přestavení. Přijatelnou rychlostí pak přejede přes přijímač rádiového signálu a zkontroluje, zda byl signál správně přenesen, výhybka se přestavila a zablokovala pro nežádoucí přestavení. Danou rychlostí pak přes jazyk výhybky přejede a kontroluje opuštění jazyků případně kolejového křížení pro možnost opět navýšit rychlost vlaku.

Během jízdy také konstantně kontroluje průjezdní profil tramvaje. Musí si být jistý, že předměty, například automobily, mu nestojí v cestě a je průjezd tramvaje bezpečný. V tomto směru je za jízdu plně zodpovědný. Průběžně kontroluje rychlost na rychloměru tak, aby nepřekračoval povolené rychlosti, případně může použít omezovač rychlosti na displeji nadřazeného řízení. V případě potřeby využívá varovných světel, například při průjezdu složek integrovaného záchranného systému, či při jiné nenadálé situaci. Má k dispozici světelnou houkačku, kterou může dát signál vozidlům a tramvajím v okolí. Pokud mu u vozu 15T situace kolem stanoviště řidiče neumožňuje při výstupu použití výklopných dveří kabiny řidiče, využije pro výstup první dveře cestujících. Při odbočování pak nejprve dá signál o změně směru jízdy směrovými světly, opticky kontroluje situaci na dané straně tramvaje, a to v zrcátku, pro lepší rozhled i v kameře. Pokud nezaznamená adekvátní reakci u ostatních účastníků provozu využije varovně zvonec. Před vjetím do odbočného oblouku adekvátně upraví rychlost tramvaje dle předpisů k dané situaci (oblouk o malém poloměru nebo výhybka).

Příjezd do zastávky

Při příjezdu do zastávky řidič adekvátně sníží rychlost tramvaje. Kontroluje dění na okraji zastávkové ostrůvku či jiného řešení zastávky. Pokud vyhodnotí situaci jako nebezpečnou, například blízkostí osob k profilu tramvaje, použije varovně zvonec. Rychlost upravuje v závislosti na situaci v zastávce, například dle toho, zda bude stanicovat jako druhý vlak, či nechá vlak předním odjet. Dle svahových podmínek plynule dobrzdí do plánovaného místa stanicování. Vyhlásí zastávku, v případě automatického hlášení tuto akci kontroluje. Pokud přijíždí do zastávky bez zastávkového sloupku s výstupem cestujících do vozovky, kontroluje průjezd dalších vozidel prostorem zastávky. Pokud se v prostoru pohybuje jiné vozidlo, neotevře dveře tramvaje do chvíle, než vozidlo zastaví, případně prostor zastávky opustí. V případě, že se nachází v prostoru zastávky také přijímač rádiově ovládané výhybky kontroluje dle procesu výše, že dojde ke správnému přestavení výhybky. Pokud v protějším směru stanicuje v zastávce tramvaj, či autobus, musí kontrolovat situaci tak, aby neohrozil chodce přecházející zpoza tohoto vozidla. Celá situace příjezdu do zastávky se liší, pokud se jedná o zastávku na znamení. Pak je úkolem řidiče zkontrolovat, zda se v prostoru zastávky nachází cestující nebo zda ve voze žádá nějaký cestující o výstup. Pokud tomu tak není, projede kolem označníku zastávky omezenou rychlostí a dále pokračuje v jízdě. V případě, že v zastávce stanicuje, volí řidič možnost uvolnění dveří, kdy si dveře otevírají cestující tlačítkem, či hromadného otevření všech dveří v závislosti na dopravní situaci, klimatických podmínek nebo například prezencí osob se zhoršenou orientací či pohybem.

Stanicování

Po otevření dveří, či jejich uvolnění řidič hlídá pohyb cestujících a zároveň kontroluje nestandardní situace. Mezi ty patří například požadavek na vyklopení plošiny pro vozíček, nástup nebo výstup s kočárkem, a to ideálně na kamerách uvnitř a vně vozidla. Musí také kontrolovat čas odjezdu ze zastávky, pokud mu není znám, může odhadovat, zda je již čas zastávku opustit na základě zkušeností s jízdní dobou k dalšímu místu s kontrolou času odjezdu. To bere v potaz během rozhodování o ukončení výstupu a nástupu cestujících spolu s dalším děním kolem tramvaje. Sleduje, zda vlak před ním již ukončil výstup a nástup cestujících, nebo zda se blíží signál volno pro další jízdu na následující světelně ovládané křižovatce. Po uzavření dveří se přesvědčí, že došlo k nástupu takzvané zelené linky, která indikuje bezpečné a úspěšné uzavření všech a umožňuje rozjezd vlaku.

3.6.2 Požadavky na řidiče budoucnosti

Z návrhu na implementaci autonomní tramvajové dopravy vychází jasný trend toho, že současné pokročilé technologie v tramvajových budou posilovat. Takový vývoj bude velmi těžké přijmout pro řidiče, kteří již dnes nejsou ochotni umožnit těmto technologiím jim asistovat a eliminovat jejich chyby. Postupně se z řidiče stává dozorce. Bude mít na starosti sledování činností autonomní tramvaje, zasahovat do řízení, pokud se tramvaj nechová dle očekávání a zvyků, které se během provozu naučila. Bude třeba, aby měl dobré analytické schopnosti, které si může během procesu implementace technologie rozvíjet.

Pokud zde uděláme paralelu s prvopočátky městské kolejové dopravy, řidič se stává konduktérem a stroj přebírá funkci kočího. Už nemusí řešit rutinní řízení tramvaje. Jeho hlavní rolí je zajištění chodu dopravy, řeší nestandardní situace a zůstává mu na starosti odbavování cestujících, čímž je zachovaná interakce člověk–člověk. Doprava je tak až do stupně GoA 4 stále velmi lidskou. Kromě analytického myšlení by měl řidič být i do jisté míry empatický a pokud je to třeba asertivní. Většina současných řidičů, kteří procházejí komplexními psychologickými testy, může dobře sloužit ve své roli až do stupně autonomie GoA 3. Ve stupni GoA 4 již velká část zkušených řidičů přechází do role dispečerů buď v terénu, či obsluhujících vlaky na dálku z centrálního dispečinku.

3.6.3 Příprava „nových“ řidičů

Aby byli řidiči na svou roli dobře připraveni, měli by být do procesu přípravy autonomního řízení co nejvíce zahrnuti. Bude-li jim vysvětlena jejich nekončící potřeba i po zavedení plně

autonomní dopravy, budou ji chtít vzít za své. Celkově princip toho, že se tramvaj vlastně bude učit od řidičů, jak řídit, může fungovat motivačně pro řidiče, aby vykonávali svou práci co nejlépe.

Schopní řidiči budou potřeba již od prvopočátků projektu při testování na simulátoru. Jejich práce se tak rozšíří z rutinního řízení v provozu o spolupráci na vývoji nové technologie. Ať už aktivně nebo pasivně, každý řidič bude pomáhat této technologii k jejímu vzniku.

V rámci přípravy na svou znovuzavedenou roli průvodčích budou řidiči postupně procházet školeními na komunikaci s cestujícími. Řidiči zároveň budou nadále rozšiřovat své schopnosti v řešení závad vlaků, aby byla jejich pokračující přítomnost na autonomním vlaku oprávněná. Při tomto rozvoji pomůže i přítomnost řidičů v depu při opravách vlaků.

3.6.4 Nové role

Řidič se zbaví své role rutinního řidiče. Jeho aktivní role v etapách rozjezd, jízda a příjezd do zastávky bude postupně eliminována. Ve chvíli, kdy ji převezme vlak bude mít řidič na starosti sledovat displej řízení tramvaje, který bude indikovat činnosti vlaku. Pokud se kterákoli činnost bude odlišovat od akce, která je podle řidiče správná, bude zasahovat do řízení vlaku podobně jako dnes. Přitažením řidiče bude moci brzdit.

Funkce	GoA 1		GoA 2		GoA 3		GoA 4	
	běžný	nouzový	běžný	nouzový	běžný	nouzový	nouzový	
Jízda	A	A	N	A	N	A	D	
Brzda	A	A	N	A	N	A	D	
Zvonec	A	A	A	A	N	A	D	
Ovládání dveří	A	A	A	A	A	A	D	
Hlášení zastávek	A	A	N	A	N	A	D	
Osvětlení vnitřní	A	A	N	A	N	A	D	
Osvětlení vnější	A	A	N	A	N	A	D	
Ovládání sběrače	A	A	A	A	N	A	D	
Směr jízdy	A	A	A	A	D	A	D	
Nouzové režimy	x	A	x	A	x	A	D	
Dálková světla (houkačka)	A	A	A	A	N	N	D	
Směrovky	A	A	N	A	N	A	D	
Stěrač	A	A	A	A	N	A	x	
Ovládání výhybek	A	A	N	A	N	D	D	
Aktivace stanoviště (start tramvaje)	A	A	A	A	D	A	D	
Bypassy (dveře, plošina, omezovače)	x	A	x	A	x	A	D	
Výstražná světla	A	A	A	A	N	A	D	
Sluneční clony	A	A	A	A	x	x	x	
Kolejnicové brzdy	A	A	N	A	N	N	D	
Záchranná brzda	A	A	A	A	A	A	D	
Ovládání HVAC	A	A	N	A	N	A	D	
Ovládání CCTV	A	A	A	A	A	A	D	

A používá osoba ve voze
N nepoužívá osoba ve voze
D ovládá se dálkově (z dispečinku)
x nerelevantní

Obrázek 17 – Činnosti řidiče tramvaje s přechodem na vyšší stupně autonomie (Kryštof Petrásek, [2020])

Od třetího stupně GoA 3 řidič už nebude muset být přítomen v přední části vlaku. Na základě návrhu se jeho stanoviště může nacházet kdekoli v rámci vozu, pravděpodobně v blízkosti

prvních dveří, aby měl řidič dobrý přehled o nastupujících méně pohyblivých cestujících. Měl by být proškolený, aby poskytl adekvátní informace cestujícím a už nebude mít na starosti monitorování činností vlaku. Nadále však bude zastupovat řízení vlaku v případě mimořádné události, či poruchy. Z řidiče se tak postupně stane proškolený průvodčí nebo jinak stevard.

S příchodem vlaků stupně GoA 4 se bude počet stevardů postupně snižovat a budou se rekvalifikovat na dispečery, kteří budou muset operovat v terénu a na centrálním dispečinku, odkud se budou plně autonomní vlaky řídit v případě poruchy. Zároveň budou moci zastávat role v opravě vlaků, jelikož už budou v tomto směru proškolení. S ohledem na pokračující nedostatek provozních zaměstnanců a postupný odchod zaměstnanců do důchodu není nástup autonomních tramvají hrozbou nýbrž řešením.

4. Závěr

Diplomová práce se zabývala moderní technologií, autonomním tramvajovým provozem a jeho potenciálním zavedením v Praze. Cílem práce bylo zmapovat pražskou tramvajovou dopravu a autonomní technologie a navrhnout postup jejich implementace do provozu. Tento postup byl pak reflektován z pohledu zaměstnance, řidiče tramvaje.

Teoretická část nejprve zevrubně prošla bohatou historií pražského tramvajového provozu od první pražské koňky po současnost. Hledala zde inspiraci pro takzvanou poptávkovou dopravu, která je díky vývoji mobilních technologií stále aktuálnější. Celkově byl historický vývoj podkladem pro prognózu dalšího vývoje a konkrétně pro roli řidiče budoucnosti zde lze hledat jisté paralely.

V práci byl dále představen současný stav vývoje autonomních technologií pro silniční vozidla, mezi které patří i tramvaje. Byly zde představeny již existující moderní technologie v současných pražských vozech a také další pilotní projekty autonomních tramvají ve světě.

V praktické části byl proveden explorativní výzkum metodou Kolo budoucnosti, který upozornil na příbuzná témata a dopady zavedení této technologie v Praze. Mezi důležité oblasti pro další vývoj projektu vytipovali odborníci celkem 12 témat a dopadů, na které by měl být brán zřetel. Společně se shodli, že opakování podobného setkání v rámci interdisciplinární skupiny účastníků bude pro úspěch projektu klíčové.

Dále bylo provedeno nezúčastněné pozorování ve formě sledování tramvajové tratě vedoucí přes pěší zónu v centru Prahy, ve kterém se ukázalo, že lidé mají k tramvajím přirozený respekt a běžně jim umožňují bezpečný průjezd i v pěších zónách. To je důležitým bodem pro otázku, zda je autonomní tramvajová doprava v Praze vůbec představitelná.

Z role řidiče zde byly předneseny současné technologické nedostatky, a naopak i úspěšné implementace moderních technologií. Byly představeny příležitosti v oblasti poptávkové dopravy a koncept modulární tramvaje, který tento systém vyžaduje. Na základě všech předešlých informací byl na konci práce představen hrubý návrh harmonogramu zavedení autonomní tramvaje v Praze s vysvětlením etap tohoto procesu ve vztahu ke stupňům automatizace. Tento proces pak byl vztažen k roli řidiče tramvaje a jejímu vývoji v dalších letech.

Autonomní tramvajová doprava se sebou nese mnohá pozitiva: snížení nákladů, možnost plynulejší dopravy, bezpečnější provoz, otevření atraktivního prostoru čela tramvaje cestujícím a mnoho dalších. Přináší však samozřejmě i negativa, na něž je potřeba myslet: otázku zodpovědnosti za vzniklé škody autonomní tramvají, složitý rozhodovací proces v případě blížící se katastrofy či nejistou návratnost naložených nákladů na zprovoznění bez jistého výsledku. Přesto se jedná o technologii budoucnosti, na níž je vhodné pracovat co nejdříve a navržený harmonogram počítá s možností zastavit vývoj na půl cesty.

Po tomto textu, který představuje úvod do tématu možnosti zavést autonomní tramvajovou dopravu v Praze, bude po přijetí plánu na její realizaci potřeba provést mnoho dalších výzkumů. Některá témata, jimž by se potenciální zájemci mohli věnovat, jsou: interakce člověka (chodce) s autonomní tramvají, uživatelské prostředí nového stanoviště řidiče pro autonomní tramvaj stupně GoA 2, propojení autonomních tramvají a ostatních vozidel v dopravě, řízení plynulé dopravy v autonomním provozu tramvají či interakce autonomní tramvaje a neautonomního vozu, například historické tramvaje. Témat je nepřehledné množství. Tramvaje totiž mají ve městě budoucnosti své nenahraditelné místo.

5. Seznam literatury a zdrojů

- Abosekeen, A., Karamat, T. B., Noureldin, A., & Korenberg, M. J. (2019). Adaptive cruise control radar-based positioning in GNSS challenging environment. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 13(10), 1666–1677. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2019.0004>
- Anderson, J. M., Kalra, N., Stanley, K. D., Sorensen, P., Oluwatola, O. A., & Rand Corporation. (2016). *Autonomous vehicle technology : a guide for policymakers* (pp. 1–14). Santa Monica, Calif.: Rand Corporation.
- Arnold, E., Al-Jarrah, O. Y., Dianati, M., Fallah, S., Oxtoby, D., & Mouzakitis, A. (2019). A Survey on 3D Object Detection Methods for Autonomous Driving Applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(10), 3782–3795. <https://doi.org/10.1109/tits.2019.2892405>
- Bajtler, Martin. “Praha chystá nové tramvajové linky, vzniknout má více než dvacítky tratí.” *iDNES*, 6 června 2021, https://www.idnes.cz/praha/zpravy/nove-tramvajove-linky-centrum-strahov-vaclavske-namesti.A210603_121635_praha-zpravy_kzem.
- Benckendorff, Pierre. “Envisioning Sustainable Tourism Futures: An Evaluation of the Futures Wheel Method.” *James Cook University*, 2007.
- Berger, C., & Rumpe, B. (2012). *Autonomous Driving—5 Years after the Urban Challenge: The Anticipatory Vehicle as a Cyber-Physical System*. Proceedings of the 10th Workshop on Automotive Software Engineering.
- Bian, Y., Ding, J., Hu, M., Xu, Q., Wang, J., & Li, K. (2020). An Advanced Lane-Keeping Assistance System With Switchable Assistance Modes. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(1), 385–396. <https://doi.org/10.1109/tits.2019.2892533>
- Bilik, I., Longman, O., Villeval, S., & Tabrikian, J. (2019). The Rise of Radar for Autonomous Vehicles: Signal Processing Solutions and Future Research Directions. *IEEE Signal Processing Magazine*, 36(5), 20–31. <https://doi.org/10.1109/msp.2019.2926573>
- Boumiza, S., & Braham, R. (2019). An Anomaly Detector for CAN Bus Networks in Autonomous Cars based on Neural Networks. *2019 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*.

- Caletka, Ondřej. “Technika Pražských Tramvají.” Ondřej Caletka. Červenec 2021, ondrej.caletka.cz/dl/slidy/20070313-SUT-Technika_prazskych_tramvaji.pdf.
- Cappaert-Blondelle, Sylvie, editor. “A Global Bid for Automation: UITP Observatory of Automated Metros Confirms Sustained Growth Rates for the Coming Years.” *International Association of Public Transport*, Únor 2012, metroautomation.org/wp-content/uploads/2012/12/Automated_metros_Atlas_General_Public_2012.pdf.
- Chen, Y., Hu, C., & Wang, J. (2019). Human-Centered Trajectory Tracking Control for Autonomous Vehicles With Driver Cut-In Behavior Prediction. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(9), 8461–8471. <https://doi.org/10.1109/tvt.2019.2927242>
- Cölln, Hajo von, & Calvez, Sandra. “Ein Zuhause für die autonome Straßenbahn in Potsdam.” *Postdamer*, Říjen 2019, <https://www.pnn.de/potsdam/automatisierung-von-rangierprozessen-ein-zuhause-fuer-die-autonome-strassenbahn-in-potsdam/25095200.html>.
- Contreras-Castillo, J., Zeadally, S., & Guerrero-Iba, J. (2019). Autonomous Cars: Challenges and Opportunities. *IT Professional*.
- Costa, M., Oliveira, D., Pinto, S., & Tavares, A. (2019). Detecting Driver’s Fatigue, Distraction and Activity Using a Non-Intrusive Ai-Based Monitoring System. *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 9(4), 247–266. <https://doi.org/10.2478/jaiscr-2019-0007>
- Český statistický úřad. “Obyvatelstvo.” *Krajská Správa ČSÚ*, 17 Červenec 2021, www.czso.cz/csu/xa/obyvatelstvo-xa.
- ČTK. “Bez strojvedoucích na linkách C a D. Dopravní podnik osloví osm výrobců automatizovaných systémů metra.” *iROZHLAS*, 22 Května 2020, https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/metro-linka-c-linka-d-metro-bez-ridice-metro-bez-strojvedouciho-praha_2005220934_oro.
- Deng, L., Yang, M., Hu, B., Li, T., Li, H., & Wang, C. (2019). Semantic Segmentation-Based Lane- Level Localization Using Around View Monitoring System. *IEEE Sensors Journal*, 19(21), 10077–10086. <https://doi.org/10.1109/jsen.2019.2929135>
- Dong, M., Zhao, X., Fan, X., Shen, C., & Liu, Z. (2019). Combination of modified U-Net and domain adaptation for road detection. *IET Image Processing*, 13(14), 2735–2743. <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2018.6696>

Elektrické podniky hlavního města Prahy. 36. výroční zprávy *Elektrických podniků hlavního města Prahy za rok 1933*. 1934.

European Union, Agency for Railways. *Glossary of Railway Terminology*, Květen 2017.
<https://web.archive.org/web/20170506005106/http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/Glossary%20of%20railway%20terminology-selection-%20EN-FR-DE.pdf.pdf>

Fojtík, Pavel, et al. *Historie městské hromadné dopravy v Praze*. Třetí vydání, Dopravní podnik hl. m. Prahy, a. s., 2005.

Fojtík, Pavel, et al. *Fakta & legendy o pražské městské hromadné dopravě*. První vydání, Dopravní podnik hl. m. Prahy, a. s., 2010.

Fojtík, Pavel, et al. *Encyklopedie Pražské MHD*. Díl 2., Dopravní podnik hl. m. Prahy, a. s., 2017.

Fojtík, Pavel. *110 let vozovny Strašnice*. Dopravní podnik hl. m. Prahy, a. s., 2018.

García Cuenca, L., Puertas, E., Fernandez Andrés, J., & Aliane, N. (2019). Autonomous Driving in Roundabout Maneuvers Using Reinforcement Learning with Q-Learning. *Electronics*, 8(12), 1536. <https://doi.org/10.3390/electronics8121536>

García Cuenca, L., Sanchez-Soriano, J., Puertas, E., Fernandez Andrés, J., & Aliane, N. (2019). Machine Learning Techniques for Undertaking Roundabouts in Autonomous Driving. *Sensors*, 19(10), 2386. <https://doi.org/10.3390/s19102386>

Ghosh, S., Pal, A., Jaiswal, S., Santosh, K. C., Das, N., & Nasipuri, M. (2019). SegFast-V2: Semantic image segmentation with less parameters in deep learning for autonomous driving. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 10(11), 3145–3154.
<https://doi.org/10.1007/s13042-019-01005-5>

Górowski, Maciej. “Autonomizacja Jazdy Tramwajem Jako Narzędzie Wspierające Pracę motorniczych.” *Transport Miejski i Regionalny*, Únor 2020, tmir.sitk.org.pl/wp-content/uploads/2021/01/gazeta02_2020_druk.pdf.

Grigorescu, S., Trasnea, B., Cocias, T., & Macesanu, G. (2019). A survey of deep learning techniques for autonomous driving. *Journal of Field Robotics*.
<https://doi.org/10.1002/rob.21918>

- Gwak, J., Jung, J., Oh, R., Park, M., Rakhimov, M. A. K., & Ahn, J. (2019). A Review of Intelligent Self-Driving Vehicle Software Research. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 13(11). <https://doi.org/10.3837/tiis.2019.11.002>
- Hahm, S., & Park, H. (2019). Drowsiness Driving Prevention System using Bone Conduction Device. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 13(9). <https://doi.org/10.3837/tiis.2019.09.011>
- He, X., Liu, Y., Lv, C., Ji, X., & Liu, Y. (2018). Emergency steering control of autonomous vehicle for collision avoidance and stabilisation. *Vehicle System Dynamics*, 57(8), 1163–1187. <https://doi.org/10.1080/00423114.2018.1537494>
- Hlavačka, Milan. *Dějiny dopravy v českých zemích v období průmyslové revoluce*. První vydání, Academia, 1990.
- Huang, Y., Ding, H., Zhang, Y., Wang, H., Cao, D., Xu, N., & Hu, C. (2020). A Motion Planning and Tracking Framework for Autonomous Vehicles Based on Artificial Potential Field Elaborated Resistance Network Approach. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(2), 1376–1386. <https://doi.org/10.1109/tie.2019.2898599>
- Hussain, R., & Zeadally, S. (2019). Autonomous Cars: Research Results, Issues, and Future Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(2), 1275–1293. <https://doi.org/10.1109/comst.2018.2869360>
- IPR. *Manuál tvorby veřejných prostranství hlavního města Prahy*, Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy, 2014.
- Jarešovský, Filip. “Pražská MHD se má rozrůst o sdílená kola. Pro jejich odemknutí postačí Lítačka.” *Metro.cz*, 20 červenec 2021, https://www.metro.cz/prazska-mhd-se-ma-rozrust-o-sdilena-kola-pro-jejich-odemknuti-postaci-litacka-1wr/praha.aspx?c=A210719_173058_metro-praha_hyr.
- Jones, L. (2017, March). Driverless Cars: When and Where. *Engineering & Technology*, 36–40.
- Kramer, Henri. “Weltneuheit: Autonom fahrende Straßenbahn erfolgreich getestet.” *Postdamer*, Září 2018, <https://www.pnn.de/potsdam/nahverkehr-in-potsdam-weltneuheit-autonom-fahrende-strassenbahn-erfolgreich-getestet/23078552.html>.

- Kuchař, František. *Městský přepravní řád*. Druhé vydání, Nakladatelství dopravy a spojů Praha, 1974.
- Li, X., Tang, B., Ball, J., Doude, M., & Carruth, D. W. (2019). Rollover-Free Path Planning for Off- Road Autonomous Driving. *Electronics*, 8(6), 614.
<https://doi.org/10.3390/electronics8060614>
- Li, Y., Sun, H., Liu, D., Xu, J., & Wang, M. (2019). Autonomous Navigation and Path Tracking Control on Field Roads in Hilly Areas. *Journal of Sensors*, 2019, 1–15.
<https://doi.org/10.1155/2019/6738594>
- Losos, Ludvík, et al. *Atlas tramvají*. První vydání, Nakladatelství dopravy a spojů, 1981.
- Luo, Q., Cao, Y., Liu, J., & Benslimane, A. (2019). Localization and Navigation in Autonomous Driving: Threats and Countermeasures. *IEEE Wireless Communications*, 26(4), 38–45. <https://doi.org/10.1109/mwc.2019.1800533>
- Martínez, C., & Jiménez, F. (2019). Implementation of a Potential Field-Based Decision-Making Algorithm on Autonomous Vehicles for Driving in Complex Environments. *Sensors*, 19(15), 3318. <https://doi.org/10.3390/s19153318>
- Mathieu Melenchon. *Autonomous Technology for Trams: What for? How Far It Will Go?*, Systra, 2018, www.slideshare.net/CaleyMcDowall/autonomous-technology-for-trams-113075152.
- McCall, R., McGee, F., Mirnig, A., Meschtscherjakov, A., Louveton, N., Engel, T., & Tscheligi, M. (2019). A taxonomy of autonomous vehicle handover situations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 124, 507–522.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.05.005>
- Národní divadlo. “Pronájem prostor.” *Služby*, 2021, <https://www.narodni-divadlo.cz/cs/sluzby/pronajem-prostor>.
- Osipychov, D., Tran, D., Sheng, W., & Chowdhary, G. (2017). *Human Intention-Based Collision Avoidance for Autonomous Cars*. Presented at the 2017 American Control Conference, Seattle, USA.
- Park, C., Jeong, N.-T., Yu, D., & Hwang, S.-H. (2019). Path Generation Algorithm Based on Crash Point Prediction for Lane Changing of Autonomous Vehicles. *International Journal of Automotive Technology*, 20(3), 507–519. <https://doi.org/10.1007/s12239-019-0048-1>

- Payalan, Y. F., & Guvensan, M. A. (2020). Towards Next-Generation Vehicles Featuring the Vehicle Intelligence. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(1), 30–47. <https://doi.org/10.1109/tits.2019.2917866>
- Péter, G., Kiss, B., & Tihanyi, V. (2019). Vision and odometry based autonomous vehicle lane changing. *ICT Express*, 5(4), 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2019.09.005>
- Pošusta, Dr. Stanislav, et al. *Od koňky k metru*. První vydání, Nakladatelství dopravy a spojů Praha, 1975.
- Prague.eu. “Sinobo Stadium (Eden Aréna).” *Places*, 2021, <https://www.prague.eu/en/object/places/2027/sinobo-stadium-eden-arena>.
- Prague.eu. “O2 Arena.” *Places*, 2021, <https://www.prague.eu/en/object/places/60/o2-arena>.
- Qatar Education City People-Mover System*, Engineering Consultants Group, 2019, www.ecgsa.com/app/uploads/2019/12/Qatar%20Education%20City%20People-Mover%20System.pdf.
- Qatar Education City People Mover System*, Siemens AG, 2015, assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:fb448fe9-af2c-418c-8b73-74e514d3facd/presentation-qatar-e.pdf.
- Qian, L., Xu, X., Zeng, Y., & Huang, J. (2019). Deep, Consistent Behavioral Decision Making with Planning Features for Autonomous Vehicles. *Electronics*, 8(12), 1492. <https://doi.org/10.3390/electronics8121492>
- R. Palafox, P., Betz, J., Nobis, F., Riedl, K., & Lienkamp, M. (2019). SemanticDepth: Fusing Semantic Segmentation and Monocular Depth Estimation for Enabling Autonomous Driving in Roads without Lane Lines. *Sensors*, 19(14), 3224. <https://doi.org/10.3390/s19143224>
- Rangan, S. N. K., Yalla, V. G., Bacchet, D., & Domi, I. (2018). Improved localization using visual features and maps for Autonomous Cars. *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*.
- Şahin, H., Atabay, O., & Akalın, Ö. (2018). Collision Avoidance Via Emergency Steering Warning System: A Driving Simulator Approach. *Journal of Polytechnic*, 22(2), 327–333. <https://doi.org/10.2339/politeknik.428010>

“Siemens Mobility and Partners Launch ‘Autonomous Tram in Depot’ Research Project .” *Siemens*, Oct. 2019, press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-mobility-and-partners-launch-autonomous-tram-depot-research-project.

Siemens Mobility GmbH. *Teaching Trams to Drive*, 2019, assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:bc2811c4-3d26-460d-9472-9372d5ce32d7/autonomous-tram.pdf.

Son, S., Jeong, Y., & Lee, B. (2019). An Audification and Visualization System (AVS) of an Autonomous Vehicle for Blind and Deaf People Based on Deep Learning. *Sensors*, 19(22), 5035. <https://doi.org/10.3390/s19225035>

Tran, D., Du, J., Sheng, W., Osipych, D., Sun, Y., & Bai, H. (2019). A Human-Vehicle Collaborative Driving Framework for Driver Assistance. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(9), 3470–3485. <https://doi.org/10.1109/tits.2018.2878027>

United Kingdom. “A time of unprecedented change in the transport system.” *Government Office of Science*, 2019, 111.

Urbanowicz, Witold. “Kraków: Newag z Autonomicznym Tramwajem Nevelo.” *Transport Publiczny*, Leden 2020, www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/krakow-newag-z-autonomicznym-tramwajem-nevelo-63699.html.

Wang, H., Yu, Yi., Cai, Y., Chen, X., Chen, L., & Liu, Q. (2019). A Comparative Study of State-of-the-Art Deep Learning Algorithms for Vehicle Detection. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 11(2), 82–95. <https://doi.org/10.1109/imits.2019.2903518>

Wang, K., Yan, F., Zou, B., Tang, L., Yuan, Q., & Lv, C. (2019). Occlusion-Free Road Segmentation Leveraging Semantics for Autonomous Vehicles. *Sensors*, 19(21), 4711. <https://doi.org/10.3390/s19214711>

Wang, P., Gao, S., Li, L., Sun, B., & Cheng, S. (2019). Obstacle Avoidance Path Planning Design for Autonomous Driving Vehicles Based on an Improved Artificial Potential Field Algorithm. *Energies*, 12(12), 2342. <https://doi.org/10.3390/en12122342>

Wang, S., Deng, Z., & Yin, G. (2016). An Accurate GPS-IMU/DR Data Fusion Method for Driverless Car Based on a Set of Predictive Models and Grid Constraints. *Sensors*, 16(3), 280. <https://doi.org/10.3390/s16030280>

Watkins, Ryan, et al. *A Guide to Assessing Needs: Essential Tools for Collecting Information, Making Decisions, and Achieving Development Results*. World Bank, 2012.

Wei, C., Romano, R., Merat, N., Wang, Y., Hu, C., Taghavifar, H., ... Boer, E. R. (2019). Risk-based autonomous vehicle motion control with considering human driver's behaviour. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 107, 1–14.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.08.003>

Yoo, J., & Langari, R. (2019). A Predictive Perception Model and Control Strategy for Collision- Free Autonomous Driving. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(11), 4078– 4091. <https://doi.org/10.1109/tits.2018.2880409>

Zanchin, B. C., Adamshuk, R., Santos, M. M., & Collazos, K. S. (2017). On the Instrumentation and Classification of Autonomous Cars. *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*.

Zhang, F., Martinez, C. M., Clarke, D., Cao, D., & Knoll, A. (2019). Neural Network Based Uncertainty Prediction for Autonomous Vehicle Application. *Frontiers in Neurorobotics*, 13(12). <https://doi.org/10.3389/fnbot.2019.00012>

6. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 – Vůz koňky na dvoře vozovny Karlín	12
Obrázek 2 – Spodně napájená tramvaj na Karlově mostě	14
Obrázek 3 – Katastrální mapa Prahy, Velká Praha.....	16
Obrázek 4 – Zrušená trať od ulice Na Veselí, kde dnes již opět jezdí tramvaje i rovně	18
Obrázek 5 – Zrušená trať na křižovatce Václavské náměstí x Na Příkopě.....	20
Obrázek 6 – Stupně automatizace.....	28
Obrázek 7 – Stanoviště řidiče pilotního autonomního vlaku Newag Nevelo 126N	30
Obrázek 8 – Schéma testovací autonomní tratě v Postupimi.....	31
Obrázek 9 – Tramvajový vlak Siemens Avenio pro Dauhá	32
Obrázek 10 – Setkání při výzkumu Kolo budoucnosti	43
Obrázek 11 – Kolo budoucnosti	48
Obrázek 12 – Mapa situace křížení na Václavském náměstí.....	51
Obrázek 13 – Letecký snímek křížení na Václavském náměstí	51
Obrázek 14 – Satelitní snímek křížení na Václavském náměstí	52
Obrázek 15 – Ovládací funkce tramvaje ve stupních autonomie	60
Obrázek 16 – Koncept segmentové autonomní tramvaje od Škody Transportation	63
Obrázek 17 – Činnosti řidiče tramvaje s přechodem na vyšší stupně autonomie.....	67
Tabulka 1 – Výsledky sledování na Václavském náměstí	44